

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

**КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО
ВИРОБНИЦТВА»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи
з дисципліни «Методи випробувань і досліджень металу шва і зварних
з'єднань»

для студентів
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(перевидання)

ТЕРНОПІЛЬ, 2016

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Методи випробувань і досліджень металу шва і зварних з'єднань» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (перевидання) / Татарин Б.П., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. – 109 с.

Укладач: к.т.н., доцент Б.П. Татарин, д.т.н., проф. М.І. Підгурський, к.т.н., доцент С.Ю. Мариненко.

Рецензент: д.т.н., проф. Пулька Ч.В.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Технології і обладнання зварювального виробництва»

Протокол № 2 від « 29 » 08 2016 р.

Розглянуто, схвалено та рекомендовано до друку методичною комісією факультету інженерії машин, споруд і технологій ТНТУ імені Івана Пулюя.

Протокол № 1 від « 29 » 08 2016 р.

Тема: «Методи випробувань і досліджень металу шва і зварних з'єднань та металографічні дослідження структури металу шва і зони термічного впливу»

1. Мета і завдання

1.1.Мета: Отримання та закріплення знань з методики проведення механічних випробувань металу шва і зварних з'єднань, металографічних досліджень структури металу шва і зони термічного впливу, визначення твердості, устаткування та приладів необхідних для проведення цих випробувань і досліджень та правильне оформлення отриманих результатів.

1.2.Завданням є ознайомлення і вивчення методики проведення випробувань та досліджень, устаткування і приладів та оформлення отриманих результатів при:

- 1) проведенні статичних випробувань на розтягнення при підвищених і понижених температурах, на тривалу міцність і повзучість та на стискання, згин, кручення і зріз;
- 2) прикладанні динамічних навантажень на ударне розтягнення, ударне стискання та ударний згин;
- 3) визначенні твердості. Статичних і динамічних методів визначення твердості. Визначенні мікротвердості;
- 4) проведенні металографічних досліджень структури металу шва і зони термічного впливу та хімічного аналізу.

2. Теоретичні відомості

Якість продукції, згідно з державними стандартами - це сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її працездатність задовольняти визначені потреби відповідно до її призначення: міцності, надійності,

відсутності дефектів, структури металу шва і біля шовної зони, корозійної стійкості, числа та характеру виправлення.

Сучасні зварні конструкції експлуатуються в складних умовах та в широких діапазонах роботи. Тому при виготовленні зварних конструкцій необхідно чітко виявляти основні фактори, що діють на конструкцію в процесі експлуатації. Ці дані необхідні для моделювання зовнішніх навантажень, як в процесі створення нових металевих конструкцій, так і для визначення якості готових конструкцій.

Основною метою випробувань матеріалів і зварних з'єднань є визначення їх властивостей за характерними ознаками, відтворення цих ознак у кількісній формі у вигляді визначених параметрів, регулярний контроль за зміною цих властивостей, що відбуваються в процесі виготовлення конструкцій (виробничий контроль) і, зокрема, виявлення дефектів, які можуть при цьому виникнути.

З метою використання отриманих результатів для загального аналізу надійності зварної конструкції, під час контролю зварних з'єднань і конструкції в цілому, в процесі експлуатації потрібно виявляти недопустимі зміни властивостей матеріалів, а у випадку пошкодження визначати його причину. Така постановка завдання обумовлює необхідність використання різноманітних випробувань під час розроблення конструкційних матеріалів, оброблення та виготовлення конструкцій і в процесі експлуатації (на всіх етапах).

Основне завдання випробувань полягає в тому, щоб максимально наблизити умови випробувань до експериментальних умов експлуатації, та кількісно визначити зміни в цих умовах основних властивостей, функцій і характеристик конструкцій /виробів/ та матеріалів. Види діючих факторів та їх значення, в залежності від умов експлуатації матеріалів і зварних конструкцій, обумовлені державними стандартами та технічними умовами, а для створюваної продукції технічним завданням на їх розроблення.

До основних діючих факторів відносяться: механічні, кліматичні,

біологічні і спеціальні середовища, іонізуючі та електромагнітні випромінювання.

Методи випробувань поділяють на:

- 1) механічні і технологічні методи випробувань, які застосовують для дослідження міцності, пластичності, деформування, в'язкості та характеру пошкодження. Отримані числові показники використовують для розрахунку інтенсивності механічного навантаження вузлів та конструкцій, для характеристики технологічних властивостей (деформування під час оброблення їх тиском, зварюванням, прожарюванням та інші.). До цієї групи можна віднести і визначення властивостей поверхні (твердості, опору спрацювання);
- 2) фізичні методи випробування застосовують для кількісного визначення механічних, термічних, оптичних, електричних і магнітних властивостей матеріалу, для виявлення зміни стану;
- 3) хімічні методи застосовуються для дослідження хімічного складу та структури матеріалу, а також для визначення його стійкості в агресивних середовищах (корозійні випробовування);
- 4) методи визначення деформацій і напружень;
- 5) методи неруйнівного контролю призначені для виявлення виду, величини і частоти розподілення не суцільностей (дефектів) і часто використовується для безперервного визначення параметрів якості;
- 6) методи дослідження тонкої побудови і структури та їх зміни - металографія.

3 СТАТИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ. МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГНЕННЯ, ТРИВАЛУ МІЦНІСТЬ, ПОВЗУЧІСТЬ, СТИСК, КРУЧЕННЯ ТА ЗРІЗ МАТЕРІАЛІВ І ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

3.1 Методи випробувань на розтягнення згідно ГОСТ 1473-84.

Випробування на розтягнення при підвищених і понижених температурах

3.1.1 Методи випробувань на розтягнення

Цей стандарт встановлює методи статичних випробувань на розтягнення чорних і кольорових металів і виробів з них, номінальним діаметром або найменшим розміром в поперечному перерізі 3.0 мм і більше для визначення при температурі $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ наступних характеристик механічних властивостей:

- межі пропорційності, $\sigma_{\text{пц}}$;
- межі пружності, $\sigma_{\text{пр}}$;
- межі текучості фізичної, $\sigma_{\text{т}}$;
- межі текучості умовної, $\sigma_{0,2}$;
- тимчасового опору, $\sigma_{\text{в}}$;
- дійсного опору розриву, $\sigma_{\text{д}}$;
- відносного видовження після розриву, δ ;
- відносного звуження поперечного перерізу після розриву, ψ .

Стандарт не поширюється на випробування дроту і труб.

Стандарт відповідає СТ СЕВ 471-88 і ISO 6892-84 за видом методу, проведення випробувань та обробленню результатів випробувань металів і виробів з їх найменшим розміром в поперечному перерізі не менше 3,0 мм.

Розтягнення зразків – є одним з основних видів механічних випробувань металів (матеріалів) і зварних з'єднань. Воно дозволяє виявляти їх важливі властивості. З випробуваного матеріалу виготовляють спеціальні зразки (найчастіше циліндричної форми, а якщо з листового металу – то плоскі). Ці зразки спеціальних розмірів (рис. 3.1).

3.1.1.1 Підготовки зразків до випробувань на розтягнення, та їх форма. Випробування на розтягнення зразків зварних з'єднань

Вирізання заготовок для зразків проводять на металорізальних верстатах, ножицях, штампах, з застосуванням кисневого різання, а також іншими методами передбачаючи допуски на зону металу зі зміненими властивостями при нагріванні й наклепу.

Місця вирізки заготовок для зразків, їх кількість, напрям поздовжньої осі зразків по відношенню до заготівлі, величини пропусків при вирізці повинні бути вказані в нормативно-технічній документації на правила відбору проб, заготовок і зразків, або на металопродукцію.

При виготовленні зразків вживають заходів (охолодження, відповідні режими оброблення), що виключають можливість зміни властивостей металу при нагріванні чи наклепу, що виникають в результаті механічного оброблення. Глибина різання при останньому проході не повинна перевищувати 0,3 мм.

Плоскі зразки повинні зберігати поверхневі шари прокату, якщо не має інших вказівок у нормативно-технічній документації на правила відбору проб, заготовок і зразків або на металопродукцію.

Для плоских зразків стріла прогину на довжині 200 мм не повинна перевищувати 10% від товщини зразка, але не більше 4 мм. При наявності вказівок у нормативно-технічній документації на металопродукцію допускається рихтування чи інший вид правлення заготовок і зразків.

Задирки на гранях плоских зразків повинні бути видалені механічним способом без пошкодження поверхні зразка. Кромки в робочій частині зразків допускаються піддавати шліфуванню і зачищенні на шліфувальному крузі або шліфувальною шкуркою.

При відсутності інших вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію значення параметрів шорсткості оброблених поверхонь (R_a) зразків повинно бути не більше 1.25 мкм - для поверхні робочої частини

циліндричного зразка і R_z не більше 20 мкм - для бічних поверхонь в робочій частині плоского зразка

Вимоги до шорсткості поверхні литих зразків і готових виробів, повинні відповідати вимогам до шорсткості поверхні литих заготовок металопродукції, що випробовується без попереднього механічного оброблення.

При наявності вказівок в нормативно-технічній документації на правила відбору проб, заготовок і зразків або на металопродукцію допускається випробовувати сортовий прокат, литі зразки і готові вироби без попереднього механічного оброблення з урахуванням допусків на розміри, передбачених для випробовуваних виробів.

Випробування проводять на двох зразках, якщо не передбачена інша кількість нормативно-технічною документацією на металопродукцію.

Для випробування на розтягнення застосовують пропорційні циліндричні або плоскі зразки діаметром чи товщиною в робочій частині 3,0 мм і більше з попередньо розрахованою довжиною $l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$ або $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$. Застосування коротких зразків є домінуючим.

Литі зразки та зразки з крихких матеріалів допускається виготовляти з початковою розрахунковою довжиною $l_0 = 2,82 \sqrt{F_0}$.

При наявності вказівок у НТД на металопродукцію допускається застосовувати і інші типи зразків, у тому числі і непропорційні, для яких початкова розрахункова довжина (l_0) встановлюється незалежно від початкової площі поперечного перерізу зразка (F_0).

Тип і розміри зразка повинні вказуватися в нормативно-технічній документації на правила відбору проб, заготовок і зразків, або на металопродукцію.

Допускається застосування при випробуванні пропорційних зразків інших розмірів.

Для плоских зразків співвідношення між шириною і товщиною в робочій частині зразка не повинно перевищувати 8:1.

Форма і розміри головок і перехідних частин циліндричних і плоских зразків визначаються способом кріплення зразків у захопленнях випробувальної машини. Спосіб кріплення повинен попереджати проковзування зразків у захопленнях, зминання опорних поверхонь, деформацію головок і руйнування зразка в місці переходу від робочої частини до головок і в головках

Для литих механічно оброблених циліндричних зразків граничні відхилення за діаметром подвоюються.

Граничні відхилення по товщині плоских зразків з механічно не обробленими поверхнями повинні відповідати граничним відхиленням по товщині, встановленим для металопродукції.

Граничні відхилення по товщині плоских зразків з механічно обробленими поверхнями - $\pm 0,1$ мм.

Робоча довжина зразків повинна складати:

- 1) від $l_0 + 0,5d_0$ до $l_0 + 2d_0$ - для циліндричних зразків;
- 2) від $l_0 + 1,5\sqrt{F_0}$ до $l_0 + 2,5\sqrt{F_0}$ - для плоских зразків.

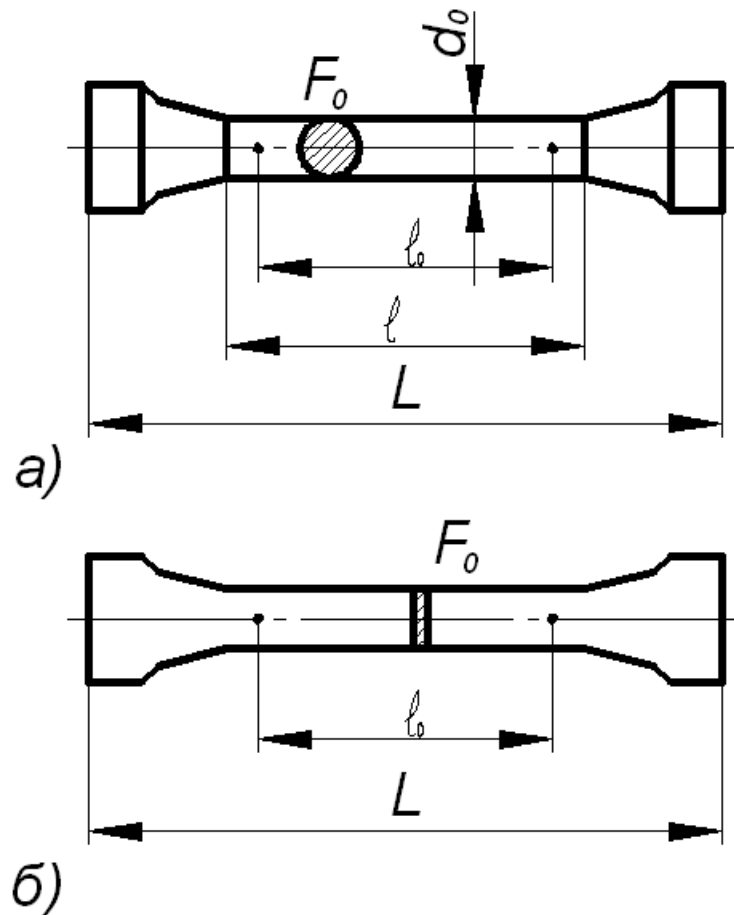
При розбіжності в оцінці якості металу робоча довжина зразків повинна складати:

- 1) $l_0 + 2d_0$ - для циліндричних зразків;
- 2) $l_0 + 2\sqrt{F_0}$ - для плоских зразків.

Зразки маркують поза робочою довжиною зразка.

Для випробувань на розтягнення застосовують циліндричні зразки діаметром 3 мм і більше, а також плоскі товщиною 0,5 мм і більше.

Випробування на розтягнення – це основний і найбільш поширений метод дослідження та контролю механічних властивостей металу і зварних з'єднань. Розтягнення використовують для дослідження нових марок сталей при розрахунку їх механічних характеристик, для визначення розмірів і величини статичного навантаження виробів і для контролю якості металу та зварних з'єднань.

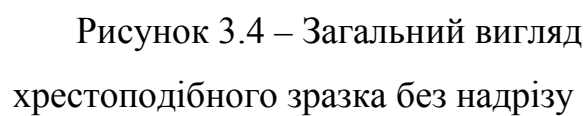
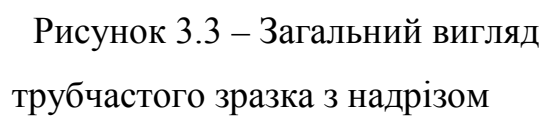


а) циліндричного; б) плоского

Рисунок 3.1 - Загальний вигляд зразків

Випробування на розтягнення досліджують поведінку металу при одноосьовому навантаженні з рівномірним розподіленням по всьому перерізу. Характеристики пластичності і міцності сильно відрізняються.

Для випробування плоских (рис. 3.2 і рис. 3.3) і трубчастих зварних з'єднань використовують зразки, що мають надріз у тому місці, де виконувалось зварювання. Надріз виконують для того, щоб при розтягуванні руйнування проходило по шву. Це дозволяє оцінювати якість зварного шва. Ступінь деформування металу тої чи іншої зони зварювання оцінюють за переміщенням контрольних рисок на еластичній плівці. Випуклість зварного шва (посилення), попередньо знімають торцевою вертикальною фрезою. Випробування на розтягування кутових швів (рис. 3.4) проводять на хрестоподібних зразках без надрізів.



Кутові зварні шви зразків повинні бути симетричними і не мати великої товщини для запобігання руйнуванню основного металу. Контроль товщини зварного шва здійснюється в трьох місцях за шириною зразка з точністю до 0,2 мм.

При випробуванні зварних зразків з накладками (рис. 3.5) та з накладними повздовжніми кутовими швами (рис. 3.6) оцінюється границя текучості і тимчасовий опір зварних з'єднань. Схеми хрестоподібного зразка і зварного зразка з муфтовим з'єднанням для випробування труб наведені на рисунках 3.7 і 3.8.

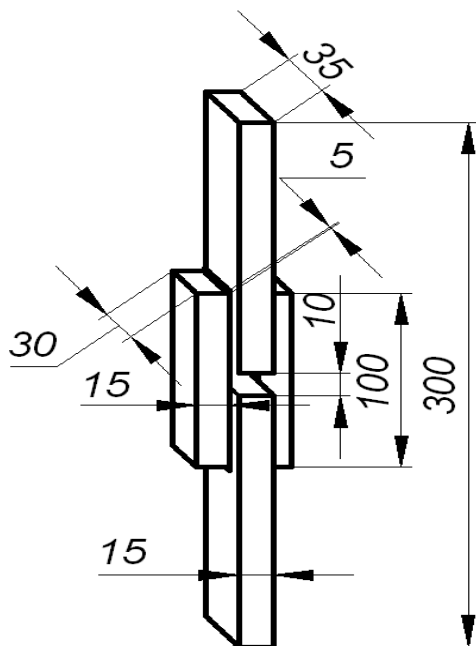


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд зварного зразка з накладками

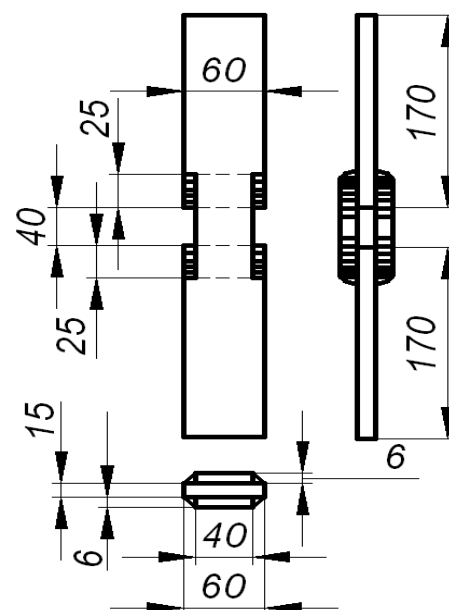


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд зразка з накладними повздовжніми кутовими швами

Для випробування швів точкового зварювання на зріз розтягуванням застосовують зразки як з однобічним (рис. 3.9), так і з двобічним (рис. 3.10) зварним з'єднанням для контролю режимів точкового зварювання, для перевірки зварюваності різних металів, а також для контролю міцності зварних точкових швів.

Розподілення силових ліній в зварному зразку показано на рис.11, а можливі види руйнувань на рисунку 3.12.

Переважно здатністю матеріалу виробу протистояти руйнуванню визначають його надійність.

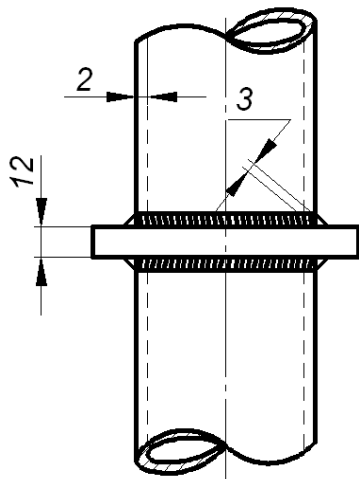


Рисунок 3.7 – Схема хрестоподібного зразка для випробування труб

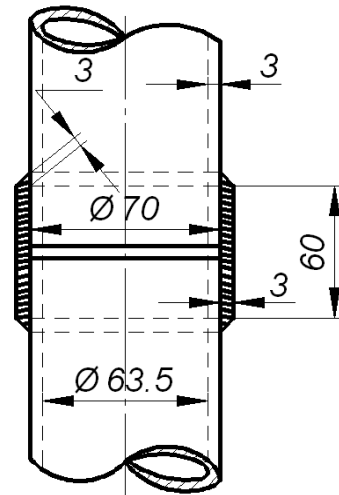


Рисунок 3.8 – Схема зварного зразка з муфтовим з'єднанням для випробування труб

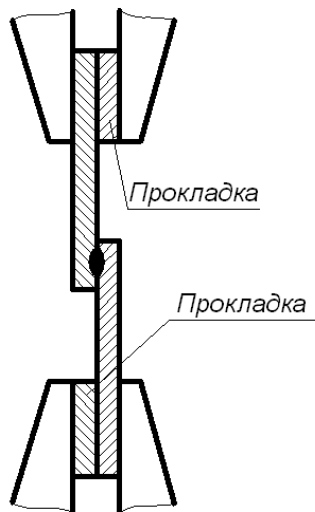


Рисунок 3.9 – Схема зразка з однобічним зварним з'єднанням

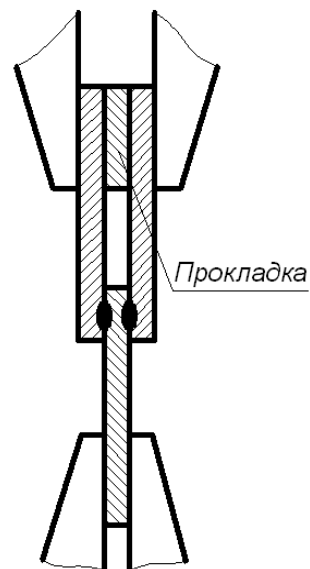


Рисунок 3.10 – Схема зразка з двобічним зварним з'єднанням

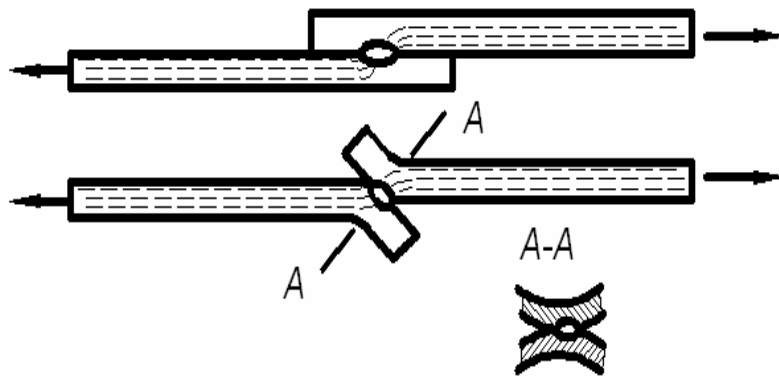
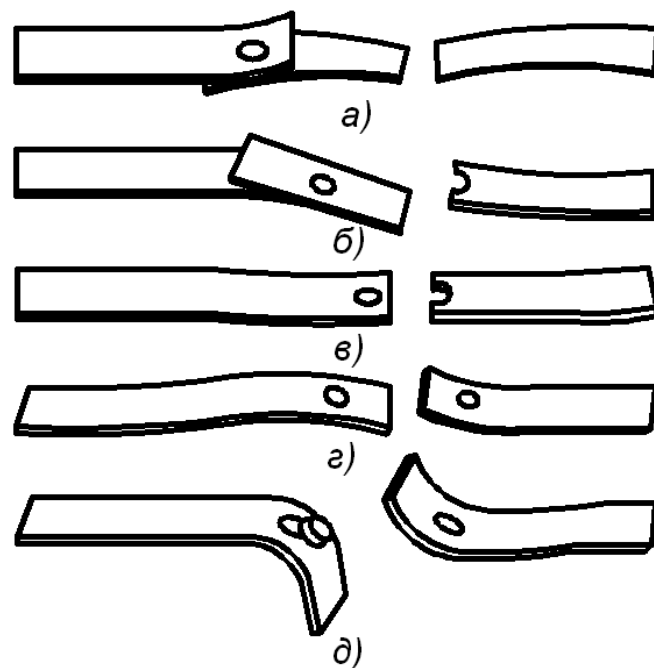


Рисунок 3.11 – Розподіл силових ліній в зварному зразку



- а) розрив листового матеріалу;
- б) обрив у місці зварювання;
- в) зріз зварного з'єднання;
- г) відрив наплавленого металу від основного.

Рисунок 3.12 – Можливі види руйнувань зварного зразка

Руйнування – це макроскопічне порушення суцільності матеріалу через ті чи інші силові впливи на нього. Визначення макро- та мікроструктури зламу

випробуваного матеріалу дозволяє оцінити опір матеріалу розповсюдженню тріщин.

3.1.1.2 Проведення випробувань на розтягнення, опрацювання і оформлення отриманих результатів випробувань

Для визначення початкової площі поперечного перерізу (F_0) необхідні геометричні розміри зразків вимірюють з похибкою не більше $\pm 0,5\%$.

Вимірювання розмірів зразків до випробування проводять не менше, ніж у трьох місцях - в середній частині і на межах робочої довжини.

За початкову площа поперечного перерізу зразка в його робочій частини (F_0) приймають найменше з отриманих значень на основі проведених вимірювань з заокругленням за таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Шкала заокруглень значень отриманих при проведенні вимірювань

| Площа поперечного перерізу зразка F_0 , мм ² | Заокруглення |
|---|--------------|
| До 10,00 | До 0,01 |
| >10,00>20,00 | >0,05 |
| >20,0>100,0 | >0,1 |
| >100,0>200,0 | >0,5 |
| >200 | >1 |

При наявності вказівок у НТД на металопродукцію допускається визначати початкову площу поперечного перерізу зразків (F_0) за номінальними розмірами (без вимірювання зразка перед випробуванням) за умови, якщо граничні відхилення за розмірами і формою відповідають наведеним у таблиці 3.2.

Величину початкової розрахункової довжини l_0 заокруглюють у більшу сторону: для зразків з $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ - до найближчого числа, кратного 5, якою

відмінність між обчисленими та встановленим значеннями l_0 не перевищує 10%; для зразків з $l_0 = 11,3\sqrt{F_o}$ - до найближчого числа, кратного 10.

Початкову розрахункову довжину (l_0) похибкою до 1% обмежують на робочій довжині зразка керна, лініями, або іншими мітками і вимірюють штангенциркулем або іншими вимірювальними засобами з похибкою вимірювання до 0,1 мм

Для перерахунку відносного видовження після розриву (δ) з віднесенням місця розриву до середини і для визначення відносного рівномірного (δ_p) по всій робочій довжині зразка рекомендується наносити мітки через кожні 5 або 10 мм.

Таблиця 3.2 – Шкала відхилень значень отриманих при проведенні вимірювань

| Тип зразка | Розміри зразка, мм (діаметр, товщина, ширина) | Максимальні відхилення розмірів | Максимальна різниця найбільшого і найменшого діаметрів, найбільшої і найменшої ширини робочої частини |
|--|---|---------------------------------------|--|
| Циліндричний оброблений | > 3 > 6 | ±0,06 | 0,03 |
| | > 6 > 10 | ±0,075 | 0,03 |
| | > 10 > 20 | ±0,09 | 0,04 |
| | > 20 > 30 | ±0,105 | 0,05 |
| Плоский оброблений з чотирьох боків | > 3 > 6 | ±0,06 | 0,03 |
| | > 6 > 10 | ±0,075 | 0,03 |
| | > 10 > 20 | ±0,09 | 0,04 |
| | > 20 > 30 | ±0,105 | 0,05 |
| Плоский оброблений з двох бічних боків | > 3 > 6 | - | 0,18 |
| | > 6 > 10 | - | 0,22 |
| | > 10 > 20 | - | 0,27 |
| | > 20 > 30 | - | 0,33 |

Нанесення міток проводять за допомогою ділильних машин або вручну з застосуванням металевої лінійки.

На зразках з малопластичних металів мітки наносять способами, які виключають пошкодження поверхні робочої частини зразка (накатуванням ділильних сіток або штрихів, фотоспособом, барвником, олівцем). Допускається нанесення міток на перехідних частинах зразка шляхом кернування або іншим способом.

Початкову площа поперечного перерізу (F_0) для зразків складної форми визначають за розрахунковими формулами або за масою. Спосіб визначення початкової площі поперечного перерізу (F_0) для таких зразків повинен бути обумовлений у нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Межу пропорційності $\sigma_{\text{пл}}$ визначають:

- за допомогою тензометрів (розрахунковий спосіб);
- графічним способом за початковою ділянкою діаграми, записаній від електричних вимірювачів сили і деформації.

Тензометр або вимірювач деформації встановлюють на зразок після його навантаження початковим зусиллям (P_0), що відповідає напруженню, рівному 5- 10% від запропонованої межі пропорційності ($\sigma_{\text{пл}}$).

Дія визначення межі пропорційності ($\sigma_{\text{пл}}$) розрахунковим способом після встановлення тензометра проводять навантаження зразка рівними ступенями до зусилля, відповідного напруженню, рівному 70-80% від запропонованої межі пропорційності ($\sigma_{\text{пл}}$). Число ступенів зусилля повинно бути не менше 4, Час витримки кожного ступеня до 5-7 с.

Подальше навантаження проводять більш малими ступенями. Коли приріст видовження для малої ступені навантажування перевищить середнє значення приросту видовження (при тій же ступені зусилля) подальше навантаження припиняють. Визначають середню величину приросту видовження на малу ступінь навантаження. Знайдену величину збільшують відповідно до прийнятого допуском. Визначають зусилля ($P_{\text{пл}}$), що відповідає визначеному значенню приросту видовження.

Допускається застосування методу лінійної інтерполяції для уточнення значення ($P_{\text{пц}}$).

Визначення межі пропорційності ($\sigma_{\text{пц}}$) графічним способом проводиться на початковій ділянці діаграми розтягнення, отриманий від електричного вимірювача сили і деформації. Видовження визначається на ділянці, що дорівнює базі вимірювача деформації. Масштаб по осі видовження повинен бути не менше 100:1 при базі вимірювача деформації 50 мм і більше, і не менше 200:1 при базі вимірювача менше 50 мм; по осі зусилля 1 мм діаграми повинен відповідати не більше 10 Н/мм² (1,0 кгс/мм²).

З початку координат (рисунок 3.13) проводять пряму ОМ, що співпадає з прямолінійною ділянкою діаграми розтягнення. Потім через таку О проводять вісь ординат ОР, після цього проводять пряму АВ, паралельну осі абсцис, на вільному рівні, і на цій прямій відкладають відрізок Кп, рівний половині відрізка ТК. Через точку п і початок координат проводять пряму Оп і паралельно до неї проводять дотичну CD до кривої розтягнення. Точка дотику кривої розтягнення визначає шукане зусилля $P_{\text{пц}}$ (висоту ординати).

Межу пропорційності визначають за формулою (Н/мм²):

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0} , \quad (3.1)$$

Модуль пружності ($E_{\text{п}}$) визначають:

- за допомогою тензометра (розрахунковий спосіб);
- графічним способом за початковою ділянкою діаграми розтягування, отриманий від електричного вимірювача сили і деформації.

Тензометр або вимірювач деформації встановлюють на зразок після його навантаження початковим зусиллям (P_0), відповідно напруженню, рівному 10-15% від запропонованої межі пропорційності ($\sigma_{\text{пц}}$).

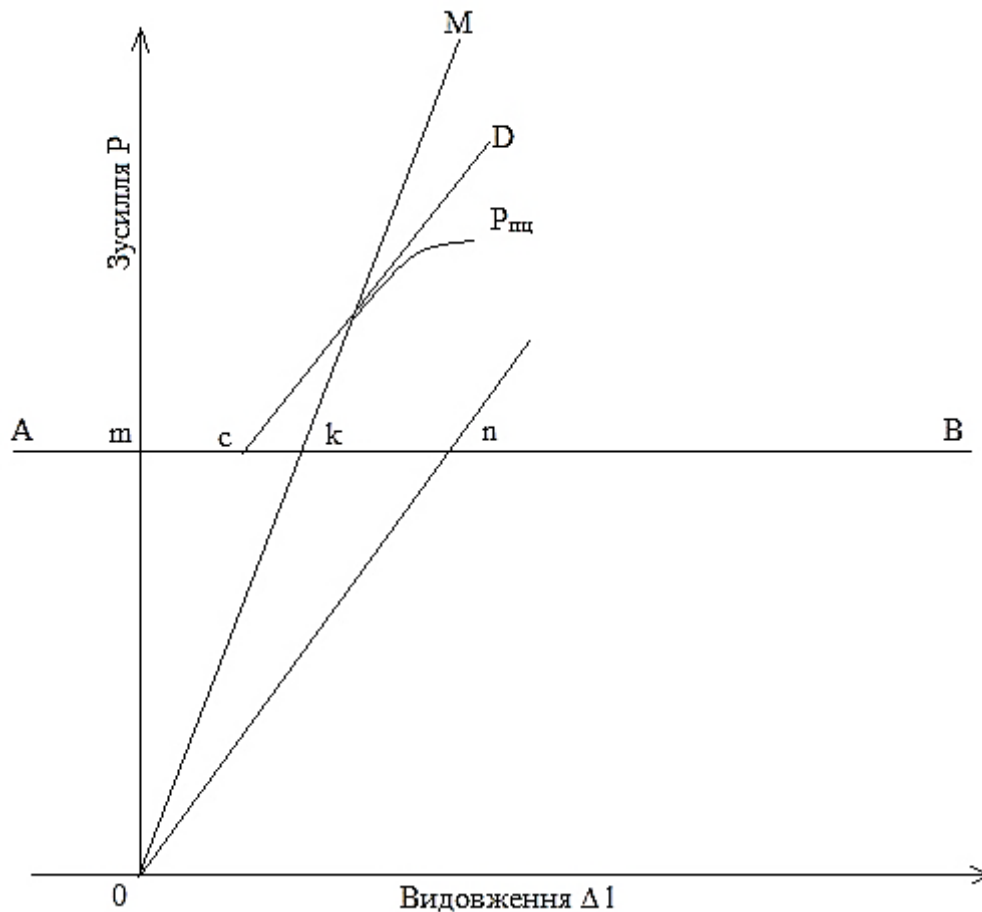


Рисунок 3.13 – Діаграма розтягнення для визначення межі пропорційності ($\sigma_{пл}$).

Після встановлення тензометра проводять навантаження зразка рівними ступенями до зусилля, відповідного напруженню, рівному 70-80% від «пропонованої межі пропорційності ($\sigma_{пл}$)». Величина ступені навантаження повинна становити 5-10% від запропонованої межі пропорційності ($\sigma_{пл}$). За результатами випробувань ви визначають середню величину приросту видовження зразка ($\Delta l_{ср.}$) мм, на ступінь навантаження ΔP , Н (кгс).

При визначенні модуля пружності графічним способом зразок навантажують до зусилля, відповідного напруженню, рівному 70-80% від запропонованої межі пропорційності ($\sigma_{пл}$). Масштаб по осі видовження повинен бути не менше 100:1 при базі вимірювача 50 мм і більше, і не менш 200:1 при базі вимірювача менше 50 мм; по осі зусилля 1 мм діаграми повинен відповідати не більше 10 Н/мм^2 ($1,0 \text{ кгс/мм}^2$).

Модуль пружності ($E_{пр}$), Н/мм² (кгс/мм²), обчислюють за формулою:

$$E_{пр} = \frac{\Delta P \cdot l_0}{l_0 \cdot F_0}, \quad (3.2)$$

Фізичну межу, текучості (σ_T), верхню і нижню ($\sigma_{ТВ}$, $\sigma_{ТН}$) визначають по діаграмі розтягнення, отриманій на випробувальній машині за умови, що масштаб діаграми по осі зусилля буде таким, що 1 мм відповідає напруженню не більше 10 Н/мм².

При контрольно-здавальних випробуваннях фізичну межу текучості (σ_T) допускається визначати за явно вираженою зупинкою стрілки або цифрового індикатора силовимірювального пристрою випробувальної машини.

При розбіжності в оцінці якості металопродукції фізичну межу текучості (σ_T) визначають по діаграмі розтягування.

При визначенні верхньої межі текучості ($\sigma_{ТВ}$) швидкість навантаження повинна встановлюватися в межах, наведених у таблиці 3.3, якщо не має інших вказівок НТД на металопродукцію.

Швидкість навантаження повинна бути встановлена в межах пружності і підтримуватися постійною по можливості, поки не буде досягнута верхня межа текучості ($\sigma_{ТВ}$).

Таблиця 3.3 Межі швидкості навантаження зразків

| Модуль пружності, $E_{пр}$ Н/мм ² | Швидкість навантаження, Н/(мм ² ·с) | |
|--|--|-------------|
| | мінімальна | максимальна |
| $E \leq 1,5 \cdot 10^5$ (для кольорових металів) | 1 | 10 |
| $E > 1,5 \cdot 10^5$ (для кольорових і чорних металів) | 3 | 30 |

При визначенні фізичної (σ_T) і нижньої ($\sigma_{ТН}$) меж текучості швидкість відносної деформації робочої частини зразка на стадії текучості повинна бути в межах від 0,00025 до 0,0025, якщо в НТД на металопродукцію немає інших

вказівок. Швидкість відносної деформації повинна підтримуватися, по можливості, постійною.

Якщо швидкість відносної деформації на стадії текучості не може бути забезпечена безпосереднім регулюванням випробувальної машини, то випробування слід проводити, задаючи швидкість навантаження в межах пружності. Швидкість навантаження перед досягненням стадії текучості повинна бути в межах зазначених у таблиці 3.3. При цьому керування машиною не повинно змінюватися до кінця стадії текучості.

Межу текучості умовну ($\sigma_{0,2}$) з допуском на величину пластичної деформації при навантаженні (або з іншим встановленим допуском) визначають по діаграмі, отриманій на випробувальній машині або за допомогою спеціальних пристроїв.

При розбіжності в оцінці якості металопродукції визначення умовної межі текучості проводять по діаграмі розтягнення, отриманій з застосуванням тензометра.

Для визначення умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$) (або з іншим встановленим допуском) по діаграмі розтягнення обчислюють величину пластичної деформації з врахуванням встановленого допуску, виходячи з довжини робочої частини зразка (l_p) або початкової розрахункової довжини за тензометрією (l_T). Знайдену величину збільшують пропорційно масштабу діаграми і відрізок отриманої довжини ОЕ відкладають по осі видовження від точки О (рис. 3.14). З точки Е проводять пряму, паралельну ОА. Точка перетину прямої з діаграмою відповідає зусиллю умовної межі текучості при встановленому допуску на величину пластичної деформації. Масштаб діаграми по осі видовження повинен бути не менше 50:1. При відсутності випробувальних машин з діаграмами зазначеного масштабу та можливості їх отримання з допомогою спеціальних пристроїв допускається, за винятком випадків розбіжностей в оцінці якості металопродукції, використовувати діаграми з масштабом по осі видовження менш 10:1 при застосуванні зразків з робочою довжиною не менше 50 мм.

Якщо, прямолінійна ділянка діаграми розтягнення виражена нечітко, то рекомендується наступний спосіб визначення умовної межі текучості($\sigma_{0,2}$) (чи з іншим встановленим допуском) – рисунок 3.15. Після того, як очікувана умовна межа текучості буде перевищувати зусилля на зразок, то його знижують до величини, що становить приблизно 10% від досягнутого. Далі встановлюють нове навантаження на зразок до тих пір, поки величина прикладеного зусилля не перевищить початкову величину.

Для визначення зусилля на діаграмі проводять пряму вздовж петлі гістерезису . Далі проводять паралельно їй лінію, відстань від початку якої до точки О на діаграмі, відкладене по осі видовження, відповідає допуску на величину пластичної деформації.

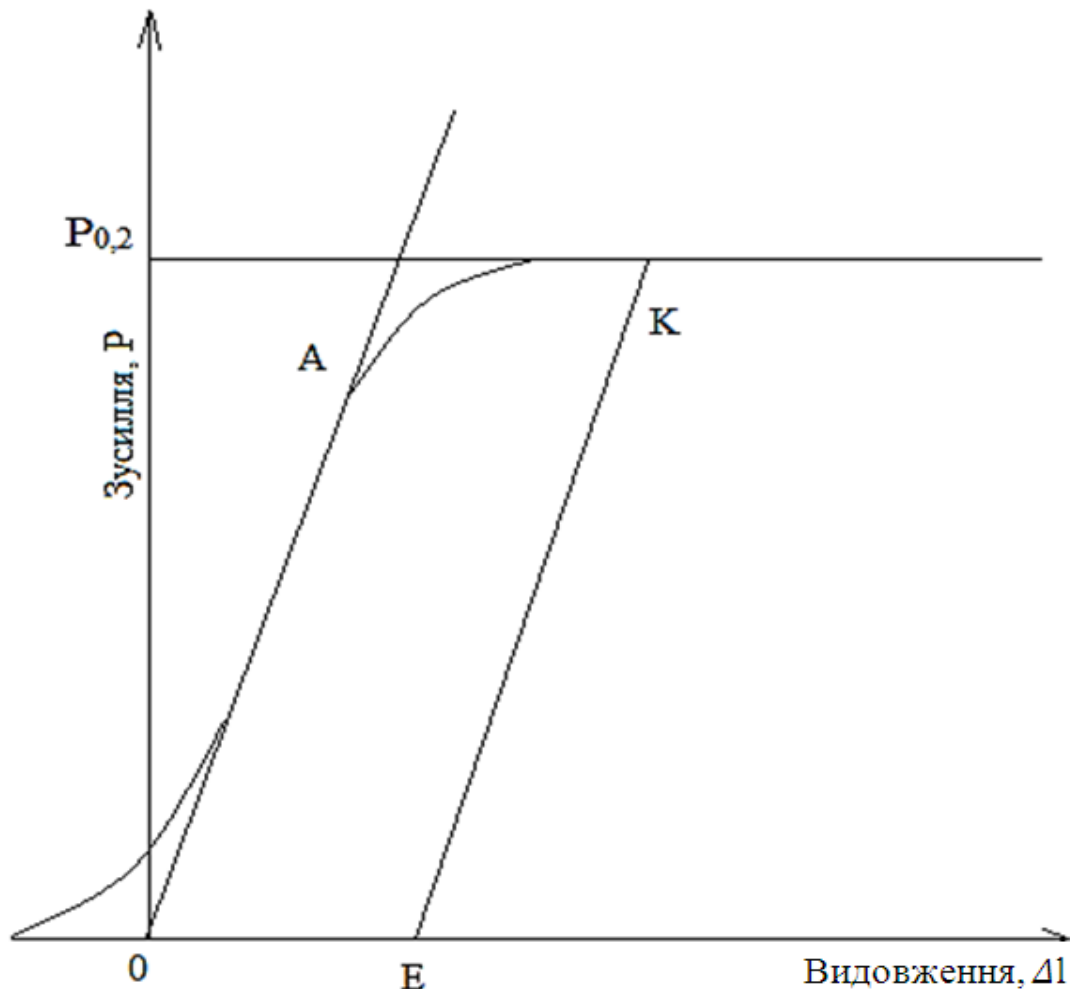


Рисунок 3.14 – Діаграма розтягнення для визначення умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$)

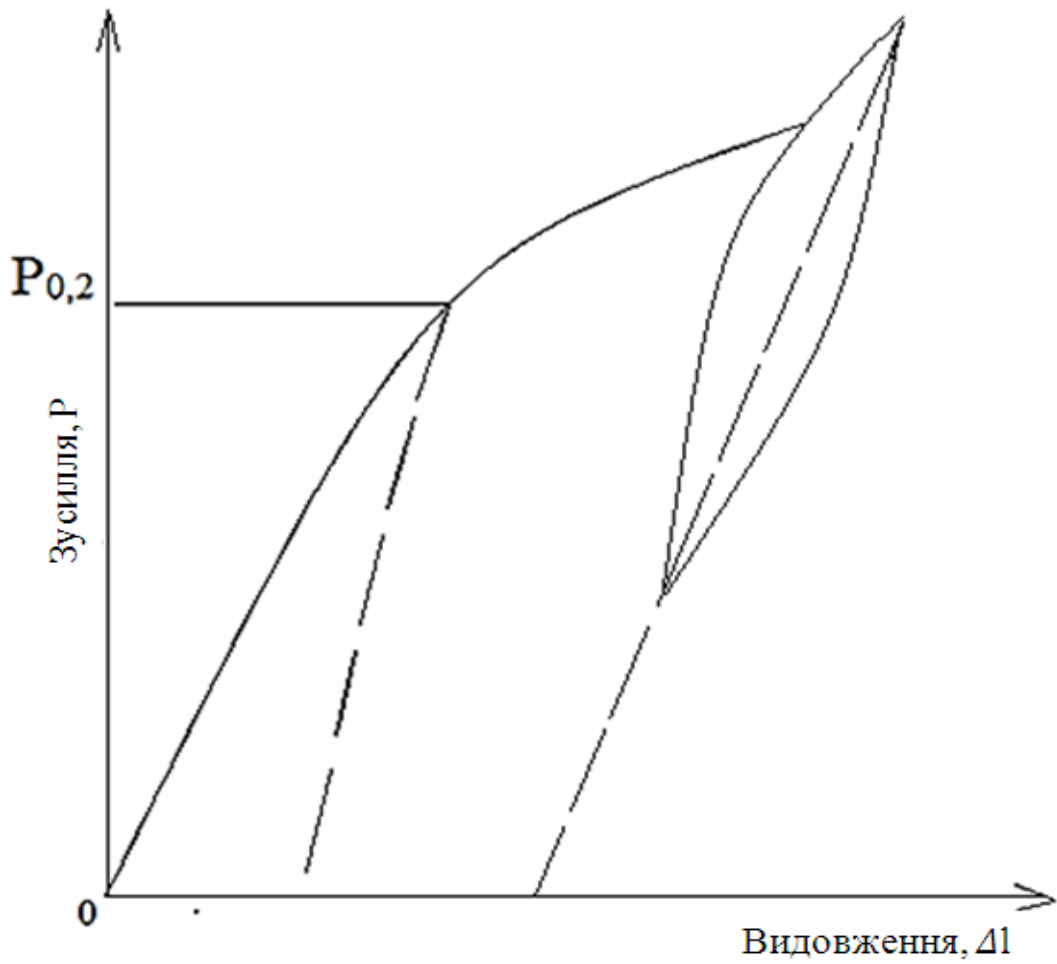


Рисунок 3.15 – Діаграма розтягнення для визначення умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$)

Величина зусилля, що відповідає точці перетину цієї лінії з діаграмою розтягнення, відповідає зусиллю умовної межі текучості при встановленому допуску на величину пластичної деформації.

При визначенні умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$) (або з іншим встановленим допуском) швидкість навантаження повинна відповідати зазначеній в таблиці 3.3, якщо в НТД на металопродукцію немає інших вказівок.

Межу текучості умовну ($\sigma_{0,2}$), Н/мм² (кгс/мм²), обчислюють за формулою:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} , \quad (3.3)$$

Умовну межу текучості ($\sigma_{0,2}$) (з іншим встановленим допуском) визначають лише за відсутності ділянки текучості, якщо не має інших вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

При наявності вказівок в НТД на металопродукцію проводиться визначення умовної межі текучості з допуском на величину повної деформації (δ_p) і умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$), що визначається методом послідовного навантаження та розвантаження зразка.

Умовну межу текучості ($\sigma_{0,2}$) з допуском на величину повної деформації визначають (δ_p) по діаграмі розтягнення (рис. 3.16).

Для визначення зазначеної межі текучості на діаграмі розтягнення проводять пряму, паралельну осі ординат (осі зусиль) яка знаходиться від неї на відстані, рівній допуску, на величину повної деформації із врахуванням масштабу діаграми. Точка перетину цієї прямої з діаграмою розтягнення відповідає зусиллю при умовній межі текучості.

Значення (δ_p) обчислюють шляхом поділу величини отриманого зусилля на початкову площу поперечною перерізу зразка (F_0).

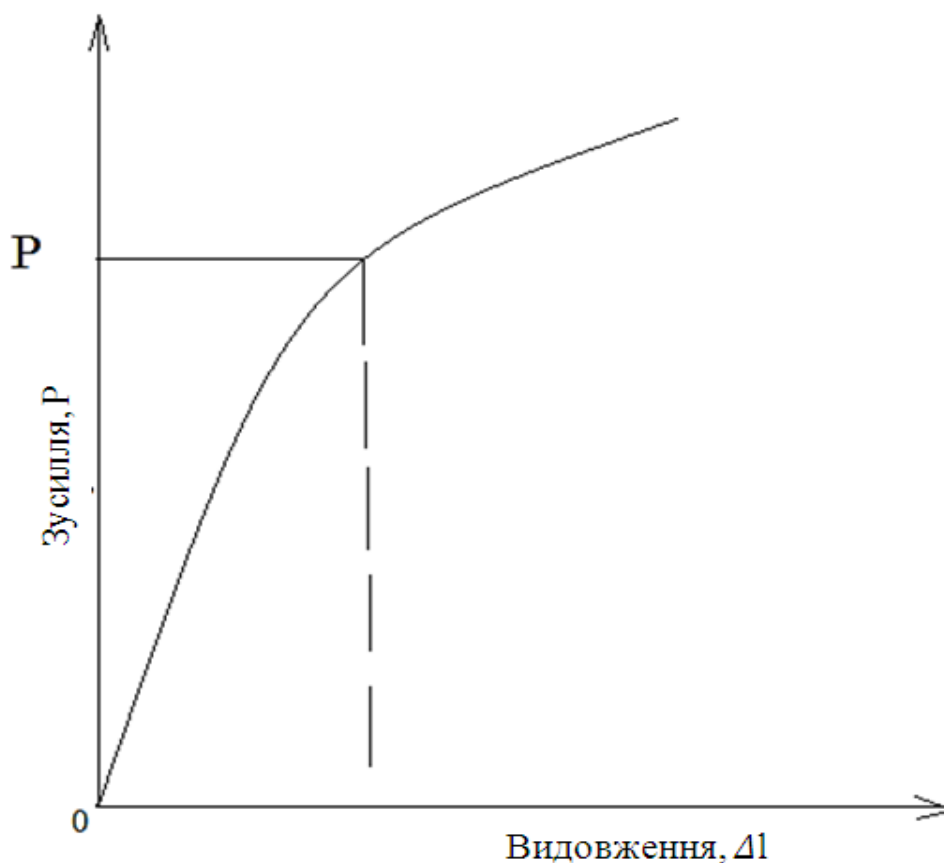


Рисунок 3.16 – Діаграма розтягнення для визначення умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$)

Для визначення умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$), що визначається методом послідовного навантаження та розвантаження на зразок після його встановлення в захопленнях випробувальної машини та прикладання до нього початкового зусилля (P_0), що складає не більше 10% від очікуваної умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$), встановлюють тензометр. Потім зразок навантажують до зусилля $P = 2P_0$ і після витримки протягом 10-12 с розвантажують до початковою зусилля (P_0). Починаючи з зусилля, що становить 70-80% від очікуваної умовної межі текучості ($\sigma_{0,2}$), зразок навантажують послідовно зростаючим зусиллям з вимірюванням залишкового видовження кожен раз після розвантаження до початкового напруження (σ_n).

Випробування припиняють, коли залишкове видовження перевищить задану величину. За зусилля, відповідне умовній межі текучості ($\sigma_{0,2}$), беруть те зусилля, при якому видовження досягає заданої величини. Якщо необхідно уточнити чисельне значення характеристики, що визначається, допускається використання лінійної інтерполяції.

Для визначення тимчасового опору (σ_b), зразок піддають розтягуванню під дією плавно зростаючого зусилля до руйнування.

Найбільше зусилля, що передуює руйнуванню зразка, приймається за зусилля (P_{max}), що відповідає тимчасовому опору.

При визначенні тимчасового опору (σ_b), швидкість деформування повинна бути не більше 0,5 від початкової розрахункової довжини зразка (l_0), вираженої в мм/хв.

Тимчасовий опір (σ_b), Н/мм² (кгс/мм²), обчислюють за формулою:

$$\sigma_b = \frac{P_{max}}{F_0} , \quad (3.4)$$

Визначення відносного рівномірного видовження проводять на зразках з початковою розрахунковою довжиною (l_0) не менше $l_0 = 11,3\sqrt{F_n}$. Відносне рівномірне видовження (δ_n) визначають на більшій частині зруйнованого зразка на розрахунковій ділянці А'В' (рисунок 3.17), яка знаходиться на відстані не менше ніж $2d_0$ або $2b_0$ від місця розриву. Кінцева довжина розрахункової ділянки ($l_{кр}$) повинна бути не менше $2d$ або $1,5b_0$. Початкову довжину розрахункової ділянки ($l_{пр}$) визначають за кількістю міток на розрахунковій ділянці і початковій відстані між ними.

Допускається визначення відносного рівномірного видовження (δ_n) по діаграмі розтягнення з масштабом по осі видовження не менш 10:1, що відповідає найбільшому зусиллю (P_{max}).

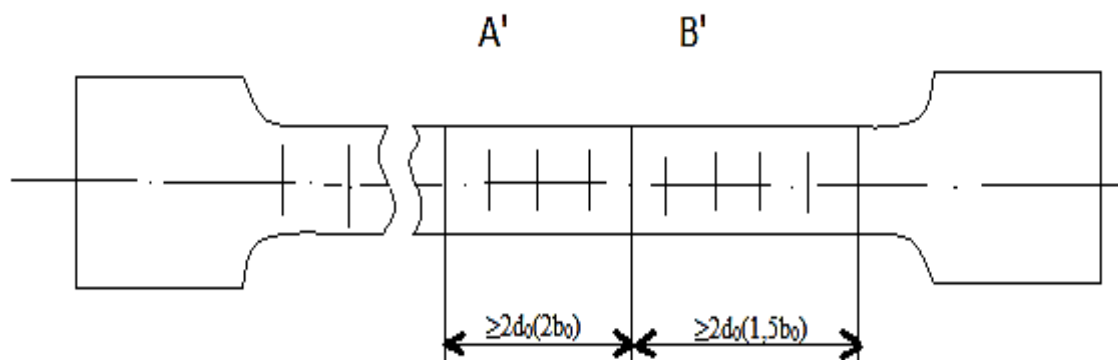


Рисунок 3.17 - Визначення відносного рівномірного видовження на зразках з початковою розрахунковою довжиною

Відносне рівномірне видовження (δ_n), %, обчислюють за формулою:

$$(\delta_p) = \frac{l_{кр} - l_{пр}}{l_{пр}}, \quad (3.5)$$

Для визначення кінцевої розрахункової довжини зразка (l_k) зруйновані частини зразка щільно складають так, щоб їх осі утворили пряму лінію.

Вимірювання кінцевої розрахункової довжини зразка (l_k) проводиться штангенциркулем при значенні відліку по ноніусу 0,1 мм.

Визначення кінцевої розрахункової довжини зразка проводиться вимірюванням відстані між мітками, які обмежують розрахункову довжину.

Якщо, відстань від місця розриву до найближчої з міток, що обмежують розрахункову довжину зразка, складає $1/3$ або менше початкової розрахункової довжини (l_0) і певна величина відносного видовження після розриву не задовольняє вимогам нормативно-технічної документації на металопродукцію, то допускається проводити визначення відносного видовження після розриву (δ) з віднесенням місця розриву до середини.

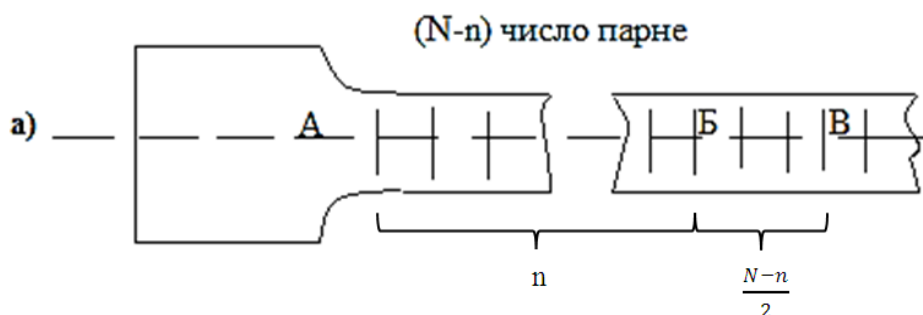
Перерахунок проводять по заздалегідь нанесеним вздовж робочої частини зразка керн або ліній, наприклад через 5 або 10 мм (рис. 3.18).

При наявності вказівок в НТД при визначенні відносного видовження після розриву для малопластичних металів ($\delta \leq 5\%$) визначають абсолютне видовження ($l_k - l_0$).

Перед випробуванням, біля одного з кінців робочої довжини зразка, наносять ледь помітну позначку. За допомогою вимірювача на зразку проводять дугу радіусом, що дорівнює початковій розрахунковій довжині зразка (l_0), і з центром в нанесеній мітці.

Після розриву обидві половини зразка щільно складають і притискають один до одного під дією осьового зусилля.

Другу дугу того ж радіусу проводять з того ж центру.



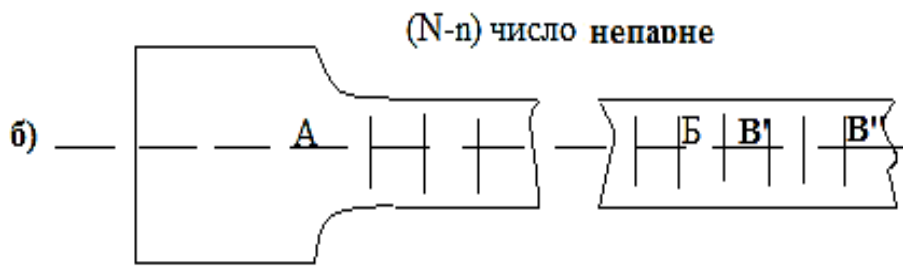


Рисунок 3.18 – Визначення кінцевої розрахункової довжини зразка вимірюванням відстані між мітками

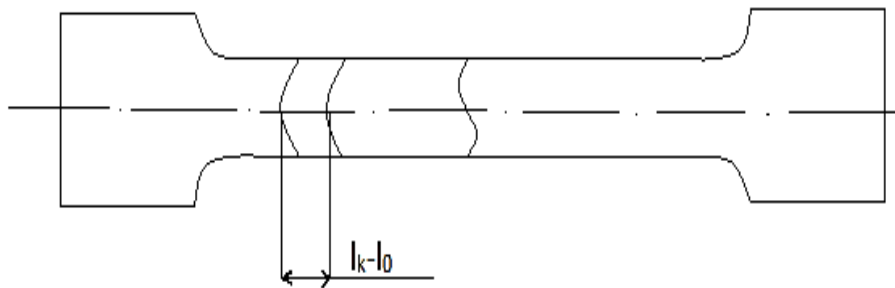


Рисунок 3.19 – Визначення абсолютного видовження зразка вимірюванням відстані між мітками

Відстань між дугами, рівну абсолютному видовженню зразка (рис.3.19), вимірюють за допомогою вимірювального мікроскопа або інших вимірювальних засобів і визначають:

- 1) кінцеву розрахункову довжину (l_k) по діаграмі розтягнення при масштабі діаграми по осі деформації (видовження) не менше 50:1;
- 2) кінцеву розрахункову довжину зразка (l_k) по відстані між головками або мітками, нанесеними на перехідних частинах зразка, із застосуванням розрахункових формул.

Відносне подовження зразка після розриву (δ) у відсотках обчислюють за формулою:

$$\delta = \frac{(l_k - l_0) \times 100}{l_0} , \quad (3.6)$$

У протоколі випробувань повинно бути зазначено, на якій розрахунковій довжині визначено відносне видовження після розриву (8).

Для визначення відносного звуження (ψ) циліндричного зразка після розриву вимірюють мінімальний діаметр (d_k) у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Вимірювання мінімального діаметру (d_k) проводиться штангенциркулем з відліком по ноніусу до 0,1 мм.

За середнім арифметичним, з отриманих значень, обчислюють площу поперечного перерізу зразка після розриву (F_k).

Відносне звуження після розриву (ψ) обчислюють за формулою:

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k) \times 100}{F_0}, \quad (3.7)$$

3.1.1.3 Устаткування для проведення випробувань на розтягнення

Розривні та універсальні випробувальні машини повинні відповідати вимогам ГОСТ 28840.

Штангенциркулі повинні відповідати вимогам ГОСТ 166.

Мікрометри повинні відповідати вимогам ГОСТ 6507.

Тензометри повинні відповідати вимогам ГОСТ 18957.

Для визначення умовних меж пропорційності і межі текучості з допусками на величину пластичної або повної деформації при навантаженні або залишковій деформації при розвантаженні до 0,1% відносна ціна поділки шкали тензометра не повинна перевищувати 0,005% від початкової розрахункової довжини за тензометром, а для визначення умовної межі текучості з допуском на величину деформації від 0,1 до 1% - не повинна перевищувати 0,05% від початкової розрахункової довжини за тензометром.

Лінійки металеві повинні відповідати вимогам ГОСТ 427.

3.1.4 Методи випробувань на розтягнення при підвищених температурах

Цей стандарт встановлює методи статичних випробувань на розтягнення чорних і кольорових металів і виробів з них, номінальним діаметром або найменшим розміром в поперечному перерізі 3,0 мм і більше, а для тонких листів і стрічок товщиною від 0,5 мм для визначення при температурах до 1200 °С наступних характеристик механічних властивостей:

- 1) межі пружності, (σ_{np});
- 2) межі текучості фізичної, (σ_T);
- 3) межі текучості умовної, ($\sigma_{0,2}$);
- 4) тимчасового опору, (σ_o);
- 5) відносного видовження після розриву, (δ);
- 6) відносного звуження після розриву, (Ψ).

Стандарт не поширюється на дрід і труби.

Стандарт повністю відповідає СТ РЕВ 1194-88, ИСО 783-89 по суті методу, проведення випробувань та оброблення результатів.

Терміни, що застосовуються в цьому стандарті, і пояснення до них згідно ГОСТ 1497-84 і ГОСТ 9651-84.

3.1.4.1 Методи відбору зразків

Метод відбору зразків проводять за наступною схемою:

- 1) типи і розміри, для випробувань, плоских і циліндричних зразків наведені на рисунках 3.20–3.24.

При наявності вказівок у нормативно-технічній документації на металопродукцію допускається застосування для випробувань зразків інших типів і розмірів;

- 2) вимоги на виготовлення зразків, їх граничних відхилень в розмірах робочої частини і маркування за ГОСТ 1497-84.

3.1.4.2 Апаратура

При проведенні випробувань використовують наступну апаратуру і пристрої:

1) апаратуру за ГОСТ 1497-84 і ГОСТ 9651-84 з доповненнями;

2) робочий простір випробувальних машин повинен дозволяти встановлювати нагрівальний пристрій з подовженими шлангами для кріплення зразків, які повинні забезпечувати надійне центрування зразка в закріпленнях випробувальної машини;

3) нагрівальний пристрій має забезпечувати рівномірне нагрівання зразка та його робочої частини до заданої температури випробування і підтримку цієї температури з урахуванням граничних відхилень, зазначених у п. 4.2 цього стандарту, протягом усього часу випробувань;

4) термоелектричні перетворювачі повинні відповідати вимогам ГОСТ 3044-84;

5) регулюючі та вимірювальні прилади повинні відповідати вимогам ГОСТ 7164-78, ГОСТ 9245-79, ГОСТ 97836-91 і мати клас точності не нижче 0,5.

3.1.4.3 Підготовка до проведення випробувань

При підготовленні до проведення випробувань необхідно:

1) вимірювання розмірів зразка, визначення його початкової площі поперечного перерізу, встановлення, нанесення і вимір початкової розрахункової довжини проводити згідно ГОСТ 1497-84;

2) для вимірювання температури на зразках встановлюють:

а) два первинних термоперетворювача (термопари) при $l_0 \leq 100$ мм (у міток, що обмежують початкову розрахункову довжину зразка);

б) три первинних термоперетворювача (термопари)-при $l_0 > 100$ мм (у міток, що обмежують початкову розрахункову довжину зразка - l_0 і в її середині).

За винятком розбіжностей в оцінці якості металу, допускається встановлювати на зразку з початковою розрахунковою довжиною (l_0) до 50 мм один первинний термоперетворювач (термопари) у середній частині початкової розрахункової довжини зразка (l_0).

3) робочий кінець первинного термоперетворювача (термопари) повинен

мати надійний контакт з поверхнею зразка і бути ізольованим від радіаційного нагрівання.

3.1.4.4 Проведення випробувань

При проведенні випробувань необхідно щоб:

1) зразок, що знаходиться в нагрівальному пристрої і нагрітий до заданої температури, після встановленого часу витримки, піддати випробуванню;

2) граничні відхилення від встановленої температури випробувань в точках виміру по довжині розрахункової частини зразка, без урахування похибок вимірювання температури, обумовлених термоелектричним перетворювачем і вторинними приладами, не повинні перевищувати:

а) $\pm 6^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань до 600°C ;

б) $\pm 7^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань від 600 до 900°C ;

в) $\pm 8^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань від 900 до 1200°C .

При розбіжності в оцінці якості металу граничні відхилення температури від встановленої, при випробуванні в будь-якій точці розрахункової довжини зразка, повинні бути на 2°C нижче.

Допускається граничні відхилення від встановленої температури:

а) $\pm 3^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань до 600°C ;

б) $\pm 4^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань від 600 до 800°C ;

в) $\pm 5^{\circ}\text{C}$ – при температурі випробувань від 800 до 1000°C ;

3) тривалість нагрівання зразка до температури випробувань і час витримки при цій температурі вказуються в нормативно-технічній документації на металопродукцію. При відсутності таких вказівок, тривалість нагрівання до необхідної температури повинна становити не більше 1 год., а час витримки – від 20 до 30 хв.;

4) при наявності вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію допускається проводити випробування в захисній (нейтральній газовій) атмосфері.

Тривалість нагрівання зразка до температури випробування в захисній

атмосфері і час витримки вказується в нормативно-технічній документації на металопродукцію;

5) інші вимоги до проведення випробувань та оброблення результатів – за ГОСТ 1497-84.

До температури проведених випробувань додають відповідний цифровий індекс так, наприклад: $\delta_{0,2}/450$; $\delta_b/450$; $\delta_5/450$ і $\Psi/450$ з допуском на величину залишкової деформації 0,2%, тимчасовий опір, відносне видовження після розриву зразка з $l_0 = 5.65\sqrt{f_0}$, відносне звуження поперечного перерізу після розриву, які визначені при температурі випробувань +450 °С.

Таблиця 3.4. Геометричні розміри плоских зразків, мм

| a_0 | b_0 | B | h | d | Номер зразка | l_0 | l | L_1 | L |
|----------|-------|-----|-----|-----|--------------|-------|-----|-------|-----|
| 0.5-1.0 | | | | | | | | | |
| 1.1-2.0 | | | | | | | | | |
| 2.1-3.0 | 10 | 30 | 40 | 10 | 5 | 20 | 25 | 105 | |
| 3.1-4.0 | 10 | 30 | 40 | 10 | 6 | 25 | 35 | 115 | |
| 4.1-5.0 | 10 | 40 | 40 | 12 | 7 | 30 | 40 | 120 | |
| 5.1-6.0 | 10 | 40 | 40 | 12 | 8 | 35 | 45 | 125 | |
| 6.1-7.0 | 10 | 40 | 40 | 15 | 9 | 40 | 50 | 130 | |
| 7.1-8.0 | 15 | 50 | 50 | 15 | 10 | 55 | 65 | 145 | |
| 8.1-8.5 | 15 | 50 | 50 | 15 | 11 | 55 | 70 | 150 | |
| 8.6-10.0 | 15 | 50 | 50 | 15 | 12 | 60 | 75 | 155 | |
| | 20 | 50 | 50 | 15 | 13 | 75 | 95 | 175 | |
| | 20 | 60 | 60 | 20 | 14 | 80 | 100 | 200 | |

$$L_1 = l + 2h + 2h_1$$

Таблиця 3.5. Геометричні розміри циліндричних зразків, мм

| d_0 | d | D | h | h_1 | Довгий зразок | | | | Короткий зразок | | | |
|-------|-----|-----|-----|-------|---------------|-------|-----|-----|-----------------|-------|-----|-----|
| | | | | | Номер зразка | l_0 | l | L | Номер зразка | l_0 | l | L |

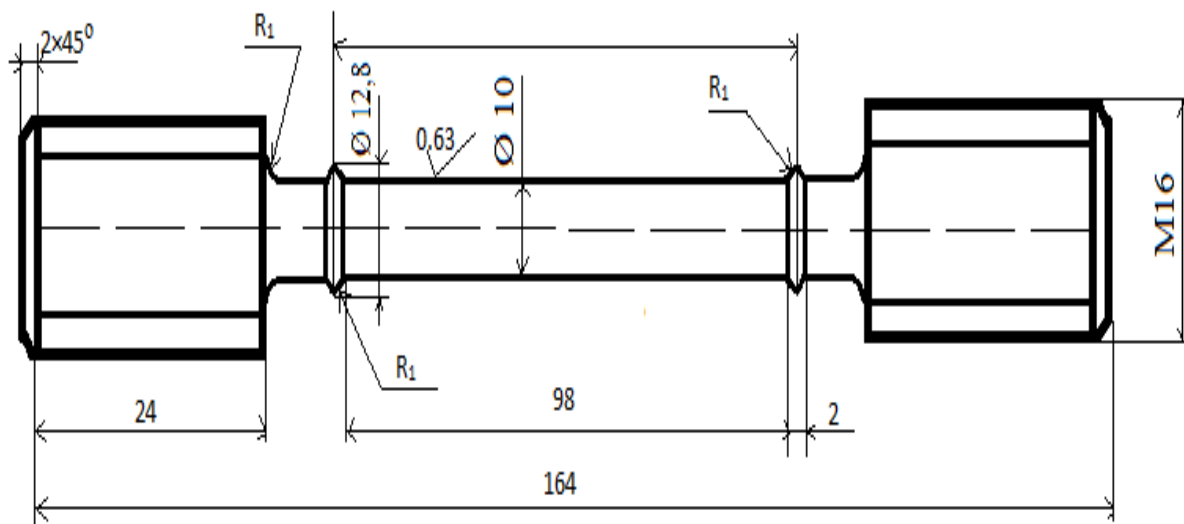


Рисунок 3.22 – Загальний вигляд циліндричних зразків для встановлення тензометра

3.1.5 Методи випробувань на розтягнення при понижених температурах

Цей стандарт встановлює методи випробувань на розтягнення чорних і кольорових металів і виробів з них номінальним діаметром або найменшим розміром в поперечному перерізі $< 3,0$ мм і більше, а для тонких листів і стрічок товщиною від 0,5 мм та визначення при температурах від 0 до -100°C наступних характеристик механічних властивостей:

- 1) межі пружності, (σ_{np});
- 2) межі текучості фізичної, (σ_T);
- 3) межі текучості умовної, ($\sigma_{0,2}$);
- 4) тимчасового опору, (σ_e);
- 5) дійсного опору розриву;
- 6) відносного видовження після розриву, (δ);
- 7) відносного звуження після розриву, (Ψ).

Стандарт не поширюється на дрід і труби. Терміни, що застосовуються в цьому стандарті і пояснення до них згідно ГОСТ 1497-84.

3.1.5.1 Методи відбору зразків

Метод відбору зразків проводять за наступною схемою:

- 1) типи і розміри плоских і циліндричних пропорційних зразків наведені на рисунках 3.23 і 3.24.

При наявності вказівок у нормативно-технічній документації на металопродукцію допускається застосування пропорційних зразків інших типів і розмірів;

- 2) вимоги на виготовлення зразків, їх граничних відхилень в розмірах робочої частини і маркування за ГОСТ 1497-84.

3.1.5.2 Апаратура

При проведенні випробувань використовують наступну апаратуру і пристрої:

- 1) апаратура за ГОСТ 1497-84 з доповненнями;
- 2) робочий простір випробувальних машин повинен дозволяти встановлювати нагрівальний пристрій з подовженими шлангами для кріплення зразків, які повинні забезпечувати надійне центрування зразка в закріпленнях випробувальної машини;
- 3) термометри повинні відповідати вимогам ГОСТ 28498-90;
- 4) термоелектричні перетворювачі повинні відповідати вимогам ГОСТ 14894-69;
- 5) регулюючі та вимірювальні прилади повинні відповідати вимогам ГОСТ 9545-79;
- 6) конструкція кріокамери повинна забезпечувати рівномірне охолодження робочої частини зразка;
- 7) охолодження зразка до заданої температури випробувань і випробування проводять в рідкому середовищі. Допускається охолодження зразка до заданої температури випробувань і випробування проводити в охолоджену газоподібному середовищі;
- 8) в якості рідкого середовища застосовують етиловий ректифікований

спирт за ГОСТ 18300-87, або азотом за ГОСТ 9293-74, або льодом.

Для охолодження зразків до температури -70°C застосовують етиловий ректифікований спирт, а до температури нижче -70°C і до -100°C – рідкий азот. Для охолодження зразків до температури -20 і до 0°C допускається застосовувати етиловий ректифікований спирт, охолоджений льодом;

9) охолодження газоподібного середовища (повітря, нейтральний газ) в кріокамері проводять за рахунок випаровування, яке вводиться в робочий простір кріостата із рідкого азоту;

10) для вимірювання температури середовища застосовують термометри рідинні (не ртутні) з ціною поділки більше 1°C або термоелектричні перетворювачі (термометри) з вторинними приладами класу точності не нижче 0,5.

3.1.5.3 Підготування до проведення випробувань

При підготуванні до проведення випробувань необхідно:

1) вимірювання розмірів зразка, визначення його початкової площі поперечного перерізу, встановлення, нанесення і вимір початкової розрахункової довжини проводити згідно ГОСТ 1497-84;

2) температура випробувань вказується в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Побудову температурних кривих випробувань рекомендується проводити при температурах $+20, 0, -20, -40, -60, -80, -100^{\circ}\text{C}$;

3) температуру середовища в кріостаті на необхідному рівні підтримують шляхом періодичного введення невеликих додаткових порцій охолоджувача при інтенсивному перемішуванні середовища або шляхом безперервної подачі охолоджувача при заданій температурі.

При відсутності вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію, допускається тимчасове переохолодження зразка.

3.1.5.4 Проведення випробувань

При проведенні випробувань необхідно:

- 1) зразок, що знаходиться в кріостаті і охолоджений до заданої температури, після встановленого часу витримки піддавати випробуванню;
- 2) під час витримки відхилення температури охолоджуючого середовища від встановленої не повинно перевищувати $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- 3) час витримки зразка при заданій температурі випробувань повинно вказуватись в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

При відсутності таких вказівок час витримки при охолодженні зразків в рідкому середовищі має становити:

- а) не менше 10 хв – для циліндричних зразків діаметром 6,0 мм і менше, а для плоских зразків товщиною 4,0 мм і менше;
- б) не менше 15 хв – для циліндричних зразків діаметром 6,0 мм і менше, а для плоских зразків товщиною 4,0 мм і менше;
- в) при охолодженні зразків у газоподібному середовищі час витримки встановлюється експериментально в залежності від конструкції кріостата і способу введення охолоджувача;

4) інші вимоги до проведення випробування та оброблення результатів – за ГОСТ 1497-84.

Приклад: $\sigma_{0,2}/450$; $\delta_b/450$; $\delta_5/450$ і $\Psi/450$ (-60) – межа текучості умовна з допуском на величину залишкової деформації 0,2%, тимчасовий опір, відносне видовження після розриву зразка з $l_0 = 5.65\sqrt{f_0}$, відносне звуження поперечного перерізу після розриву, визначені при температурі випробування -60°C .

Таблиця 3.6 - Геометричні розміри циліндричних зразків,мм

| d | D | h не мен- ше | h ₁ | h ₂ | Довгі зразки | | | | Короткі зразки | | | | Допуск різниці найбільшого і найменшого діаметрів по довжині робочої частини зразка | d ₀ (граничні відхилення)±0,1 |
|----|-----|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------------------------|-----|--|-----------------|---------------------------------|----|-----|--|---|
| | | | | | Номер зразка | l ₀ =10d ₀ | l | L | Номер зразка | l ₀ =5d ₀ | l | L | | |
| 5 | M8 | 10 | 2 | 4 | 1 | 30 | 33 | L=l+2(h+h ₁ +h ₂) | 1K | 15 | 18 | 0.2 | 3 | |
| 6 | M10 | 12 | 4 | 4 | 2 | 40 | 44 | | 2K | 20 | 24 | | 4 | |
| 8 | M12 | 15 | 5 | 4 | 3 | 50 | 55 | | 3K | 25 | 30 | | 5 | |
| 10 | M12 | 15 | 5 | 4 | 4 | 60 | 66 | | 4K | 30 | 36 | | 6 | |
| 12 | M16 | 18 | 5 | 3 | 5 | 100 | 110 | | 5K | 50 | 60 | | 10 | |

Таблиця 3.7 - Геометричні розміри циліндричних зразків,мм

| a ₀ | b ₀ | B | h, не менше | Короткі зразки | | | | | Допуск різниці найбільшого і найменшого діаметрів по довжині робочої частини зразка |
|----------------|----------------|----|-------------|----------------|------------------------|----|-----------------------|--------------------------|---|
| | | | | № зразка | $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ | l | L ₁ | L | |
| 0,5 до 1,0 | 10 | 30 | 40 | 15K | 25 | 30 | L=l+h+2h ₁ | L=l+2(h+h ₁) | 0,05 |
| 1,0 до 2,0 | 10 | 30 | 40 | 16K | 25 | 30 | | | |
| 2,0 до 3,0 | 10 | 30 | 50 | 17K | 30 | 35 | | | |
| 3,0 до 4,0 | 10 | 30 | 50 | 18K | 35 | 40 | | | |
| 4,0 до 5,0 | 10 | 40 | 50 | 19K | 40 | 45 | | | |
| 5,0 до 6,0 | 10 | 50 | 60 | 20K | 45 | 50 | | | |

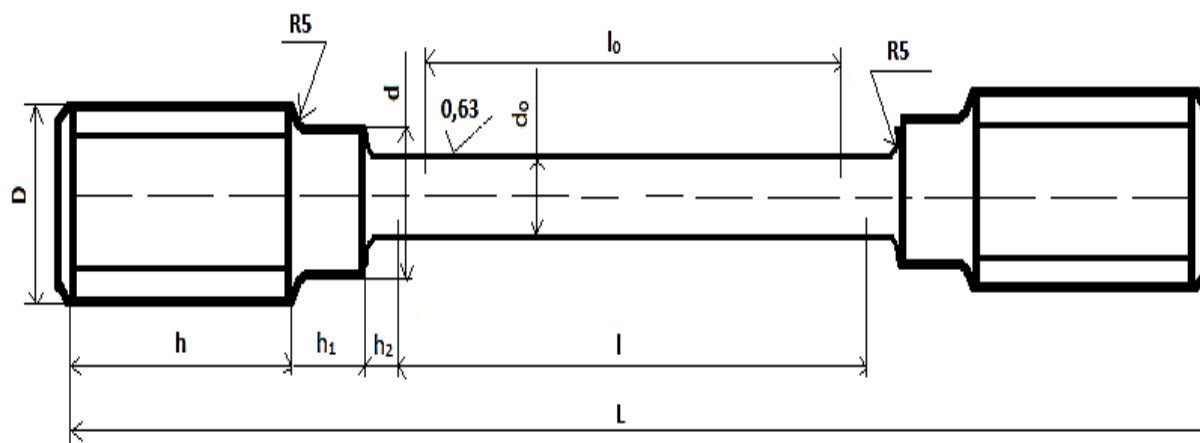


Рисунок 3.23 – Загальний вигляд циліндричних зразків

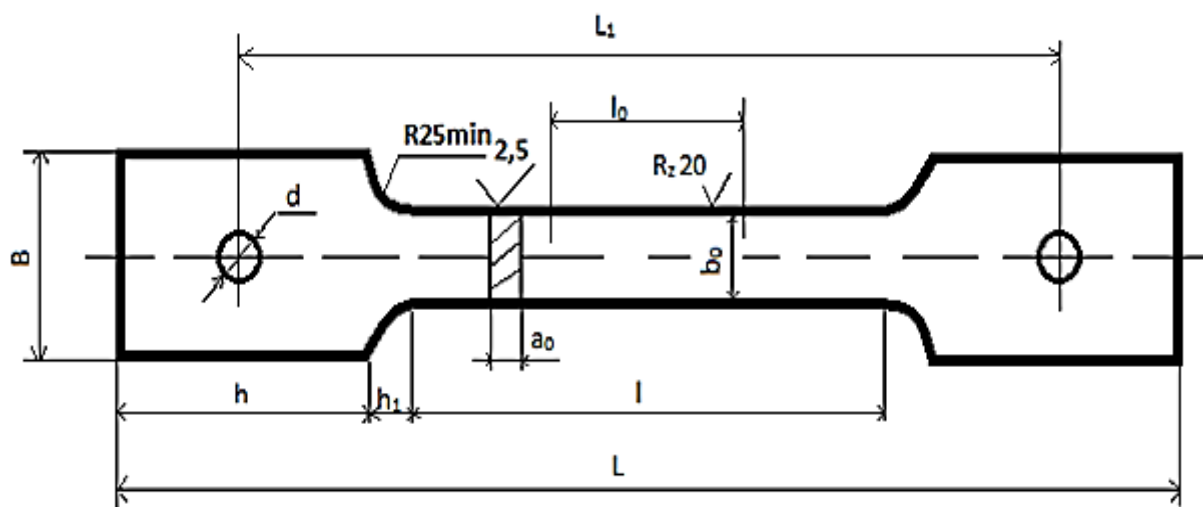


Рисунок 3.24 – Загальний вигляд плоских зразків

3.2 МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ НА ТРИВАЛУ МІЦНІСТЬ І ПОВЗУЧІСТЬ

3.2.1 МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ НА ТРИВАЛУ МІЦНІСТЬ

Методи випробувань на тривалу міцність проводяться згідно ГОСТ10145-62.

Тривала міцність - це властивість матеріалу протистояти руйнуванню під дією тривалого навантаження при температурі до 1200°C.

Метод полягає в тому, що зразок доводиться до руйнування під дією постійного розтягуючого навантаження при постійній температурі. Даний стандарт поширюється на чорні і кольорові метали і сплави. В результаті випробувань визначають межу тривалої міцності (встановлюють відповідність між часом до руйнування і нормою часу вказаною в стандартах або ТУ на металопродукцію).

3.2.1.1 Форма і розміри зразків

Встановлюються наступні форми і види зразків для випробувань:

- 1) циліндричний зразок діаметром 5 мм з початковою розрахунковою довжиною 25 мм;
- 2) циліндричний зразок діаметром 10 мм з початковою розрахунковою довжиною 50 мм;
- 3) циліндричний зразок діаметром 7 мм з початковою розрахунковою довжиною 70 мм;
- 4) плоскі зразки з початковою розрахунковою довжиною (l_0), яка визначається за формулою;

$$l_0 = 5.65 \cdot \sqrt{F_0}, \quad (3.8)$$

де F_0 - початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка, мм².

Товщина плоского зразка визначається товщиною прокату. Допускається також при наявності технічних обґрунтувань застосовувати зразки інших розмірів і форм, але діаметр зразків повинен бути не менше 3 мм. Форма і розміри зразків для випробувань встановлюються стандартами або технічними умовами на виготовлення продукції.

3.2.1.2 Форма і розміри головок зразків і перехідної частини

Форма і розміри головок зразків і перехідної частини визначаються прийнятим способом закріплення зразка в затискачах випробувальної машини.

Зразки повинні мати однакову площу поперечного перерізу по всій розрахунковій довжині. Допускається відхилення по площі поперечного перерізу $\pm 0,5 \%$.

Поверхня зразків повинна бути гладкою без рисок і пошкоджень.

3.2.1.3 Апаратура

А. Машини для випробувань на тривалу міцність повинні забезпечувати:

- а) постійність навантаження на протязі всього процесу випробувань;
- б) плавність навантаження і розвантаження зразка;
- в) прикладання навантаження до зразка з похибкою не більше $\pm 1\%$.

Б. Продовження штанги для закріплення зразків повинно забезпечувати встановлення зразків без перенесення і осьове прикладання навантаження.

В. Нагрівальні пристрої повинні забезпечувати рівномірне нагрівання зразків до заданої температури і зберігання її на протязі всього періоду випробувань.

Г. Термопары повинні систематично перевірятися.

Д. Вимірювання температури потрібно проводити приладами з похибкою не більше 0,5 %.

3.2.1.4 Проведення випробувань

При проведенні випробувань необхідно:

- 1) встановлений в затискачах випробувальної машини і поміщений в печі зразок, нагрівати до заданої температури (під час нагрівання зразка, переважно не більше 8 годин) і витримувати його при необхідній температурі не менше 1 години;
- 2) для вимірювання температури зразків на кінцях робочої частини повинно встановлюватися не менше 2 термопар, таким чином, щоб гарячі спаї щільно доторкались до поверхні зразка. Гарячий спай термопар повинен бути захищений від дії нагрітих стінок печі. Холодний шар термопар повинен мати постійну температуру;

- 3) необхідно періодично, не рідше, ніж через 2 години змінювати температуру за допомогою потенціометра. Рекомендується автоматичний запис температури на протязі випробувань;
- 4) після нагрівання зразка і витримуванні його при заданій температурі необхідно плавно прикладати навантаження. Час до руйнування при заданій величині напруження є основним показником даного виду випробувань;
- 5) після руйнування зразка визначають:
 - а) відносне видовження(δ);
 - б) відносне звуження(ψ).
- 6) тривалість випробувань встановлюється для кожного матеріалу в залежності від його марки. Рекомендується визначати границю тривалої міцності на основі випробувань тривалістю 50, 100, 500, 1000, 3000, 5000, 10000 годин, якщо не потрібна інша база випробувань;
- 7) у випадку вимушеного переривання випробувань, розвантаження зразків можна не проводити. Однак, необхідно забезпечити відсутність додаткових напружень в зразку при його охолодженні;
- 8) результати випробувань вважати недійсними:
 - а) при розриві зразка по розміточних рисках або кернах, а також за межами його розрахункової довжини, за винятком випробувань, при яких сумарна тривалість випробувань, або сумарне видовження не нижче встановлених стандартами або ТУ на виготовлену продукцію;
 - б) при розриві зразків по дефектах металургійного виробництва (розшарування, плівки та ін.);
 - в) температура приміщення під час проведення випробувань повинна бути постійною.

3.2.1.5 Розрахунок результатів випробувань

Порядок розрахунку результатів випробувань наступний:

1) в результаті випробувань встановлюється залежність між напруженнями і часом руйнування, яка може бути виражена графіками побудованими в логарифмічній, напівлогарифмічній системі координат. За цими графіками, шляхом інтерполяції або екстраполяції, визначають границю тривалої міцності металу з точністю 6 МПа.

Не рекомендується проводити екстраполяцію на термін служби, який перевищує максимальну тривалість випробування більше ніж на 1-1,5 порядки;

2) межа тривалої міцності позначається (σ) з двома числовими індексами. Верхній індекс - температура випробувань в °С. нижній - тривалість випробування до руйнування в год.

Тривалість випробувань можна позначати числом годин або цифрою 10 з показником в степені так, наприклад:

σ_{1000}^{700} – границя тривалої міцності за 1000 годин і випробовують при температурі 700°С;

3) відносне видовження в % після розриву розраховують за формулою:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% , \quad (3.9)$$

де l_0 - початкова розрахункова довжина, що вимірюється при нормальній температурі, мм;

l_k - кінцева розрахункова довжина, після розриву, мм.

Початкову розрахункову довжину (довжину ділянки робочої частини зразка), на якій вимірюється видовження, перед початком випробування обмежують рисками або кернами з точністю до 0,1 %;

4) для вимірювання розрахункової довжини після розриву, частини, які зруйнувалися, щільно складають між собою так, щоб їх осі

утворювали пряму лінію. Вимірювання проводяться з точністю до 0,05 мм;

5) відносне звуження циліндричних зразків після розриву в % розраховують за формулою:

$$\psi = \frac{F_0 - F_M}{F_0} \cdot 100\% , \quad (3.10)$$

де F_0 - початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка, що вимірюється при нормальній температурі перед випробуваннями, мм;

F_M - мінімальна площа поперечного перерізу робочої частини зразка після руйнування, розрахована за середнім арифметичним із результатів вимірювань мінімального діаметру в місці розриву в двох взаємноперпендикулярних напрямках, мм².

Вимірювання діаметра зразка до і після випробувань проводиться з точністю до 0,05 %;

б) в протоколі випробувань повинні бути вказані температура випробувань, напруження, матеріал і розміри зразка, параметри надрізу, якщо зразок його має, час до руйнування або тривалість випробувань, відносне видовження зразка і звуження, площа поперечного перерізу зразка після руйнування.

Якщо під час випробувань мали місце перерви, то необхідно вказати їх кількість і умови, в яких знаходився зразок під час перерви.

3.2.1.6 Форма запису (оформлення) результатів випробувань на тривалу міцність

А. Матеріали:

- 1) марка;
- 2) хімічний склад;

3) вид напівфабрикату (прокат сортовий, прокат листовий, труба, поковка, відливка та ін., їх розміри);

4) види і режими термооброблення;

5) мікроструктура, величина зерна і злам .

Б. Зразки:

1) з якого місця заготовки або виробу вирізаний зразок;

2) напрям вирізування зразка;

3) форма зразка.

В. Апаратура:

1) тип установки для випробувань;

2) точність вимірювання температури;

3) точність прикладання навантаження.

Таблиця 3.8 – Умови і результати проведених випробувань

| Номер зразка | Температура випробувань, °C | Напруження, (Н/мм ²) кГс/мм ² | Розмір зразка, мм | | Тривалість випробувань до руйнування, год | Відносне видовження, % | Поперечне звуження, % | Перепад температури зразка, °C | Коливання температури зразка, °C | Коливання температури приміщення, °C |
|--------------|-----------------------------|---|-------------------|-------------------|---|------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | | | до випробувань | після випробувань | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

3.2.2 МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ НА ПОВЗУЧИСТЬ

Методи випробування на повзучість проводяться згідно ГОСТ 3248-60.

Повзучість - це властивість матеріалів повільно і безперервно пластично деформуватися при незмінній температурі, під дією незмінного і тривалого навантаження розтягнення.

Даний стандарт поширюється на чорні, кольорові метали та їх сплави, і встановлює метод випробувань на повзучість при розтягненні, суть якого полягає в тому, що зразок, який випробовують на протязі тривалого часу, піддають дії постійного розтягуючого зусилля і постійної температури при фіксованій деформації зразка в часі. В результаті випробувань визначають границю повзучості матеріалу - найбільші напруження, при яких швидкість або деформація повзучості за визначений проміжок часу не перевищують заданої величини.

3.2.2.1 Форми і розміри зразків

Стандартом встановлені наступні основні форми і види зразків:

1) циліндричні – діаметром 10 мм з розрахунковою довжиною 100 мм (нормальний зразок) і з розрахунковою довжиною 200 мм (видовжений зразок);

2) тонкий – шириною 15 мм з розрахунковою довжиною 100 мм, а товщина зразка визначається товщиною листа.

Даним стандартом допускається, при наявності технічного обґрунтування, застосовувати зразки іншої форми і розмірів. Розрахункова довжина циліндричних зразків (L) повинна бути рівна 5 або 10 діаметрів. Діаметр циліндричних зразків повинен бути не менше 5 мм.

При виготовленні і підготовленні зразків до випробувань необхідно враховувати, що:

1) допустимі відхилення від заданої розрахункової довжини зразка, довжини ділянки робочої частини зразка, на якому вимірюється видовження, не повинні перевищувати $\pm 1\%$;

2) форму і розміри головок зразків визначають прийнятим способом закріплення вимірювача видовження на зразку і способом закріплення зразка в затискачах випробувальної машини. Спряження головки зразка з його робочою частиною повинно виконуватися плавною кривою;

3) зразки повинні мати однакову площу поперечного перерізу по всій довжині, відхилення допускається $\pm 0,5\%$.

При виготовленні зразків не повинні проходити зміни властивостей випробовуваного матеріалу внаслідок нагрівання і наклепу;

4) поверхня зразків повинна бути гладкою, без рисок і пошкоджень. Зразки, що виготовляють з листового матеріалу, можна застосувати двох видів:

а) із збереженням поверхневого шару;

б) із шліфованою поверхнею.

Биття зразків, при перевірці в центрах випробувальної машини не повинно перевищувати 0,02 мм;

5) якщо метал підлягає випробуванню в термічно обробленому стані, то термообробленню піддаються заготовки для зразків. Якщо, термооброблення погіршує механічне оброблення різанням даного металу (підвищує твердість або в'язкість), то ці заготовки попередньо повинні бути вибрані за розмірами, що враховують допуск на кінцеве оброблення і можливе короблення.

3.2.2.2 Устаткування і апаратура для випробувань

Машини для випробувань металів на повзучість повинні забезпечувати:

1) постійність навантаження на протязі всього процесу випробувань;

2) плавність навантаження і розвантаження зразка;

3) положення навантаження до зразка з похибкою не більше 0,5; 4) прикладання навантаження до зразка без помітного ексцентриситету.

Прилади для вимірювань деформації повинні забезпечувати точність вимірювання не менше 0,002 мм.

Нагрівальний пристрій повинен забезпечувати рівномірне нагрівання зразка до заданої температури і зберігання її на протязі всього часу випробувань.

Для вимірювання температури на зразках з розрахунковою довжиною до 100 мм включно, повинно встановлюватись не менше двох термопар. Якщо розрахункова довжина більше 100 мм - тоді не менше трьох термопар.

Термопари повинні систематично перевірятись по еталону.

Вимірювання температури потрібно проводити приладами з похибкою 0,5.

Крім цього, необхідно не рідше 1 разу в годину вимірювати температуру за допомогою потенціометра. Рекомендується автоматичний запис температури на протязі всього часу випробувань.

3.2.2.3 Проведення випробувань

При проведенні випробувань на повзучість необхідно врахувати, що:

1) правильність (відсутність ексцентриситету) встановлення зразків в затискачах випробувальної машини перевіряється вимірюванням при нормальній температурі пружних видовжень зразка на двох діаметрально-протилежних боках. Отримання нерівних видовжень вказує на ексцентричне положення зразків;

2) встановлений в затискачі випробувальної машини і поміщений в нагрівальну піч, зразок нагрівається до заданої температури (час нагрівання не більше 8 годин) і витримують при цій температурі не менше 1 години;

3) температура випробувань (°C) вибирається кратною 50. Якщо по умовах випробувань не задається спеціальна температура;

4) після нагрівання зразка до заданої температури, і витримки при ній не менше 1 години, до нього плавно прикладають попереднє навантаження, що повинно бути рівне, приблизно 10 % від заданого загального навантаження. Одночасно, з прикладанням навантаження повинно проводитись візуальне відрахування деформації зразка, починаючи з попереднього навантаження і на кожну ступінь навантаження, якщо воно прикладається ступенями і вмикається прилад для автоматичного запису видовження. Інтервали для запису видовження повинні вибиратися з таким розрахунком, щоб в процесі випробування можна було повністю встановити характер зміни видовження. Якщо, конструкція випробувальної машини на повзучість не дозволяє виконувати навантаження ступенями, то пластична деформація при навантаженні може бути отримана шляхом вирахування пружної деформації від сумарної;

5) норми на тривалість випробувань і допуск на деформацію при заданому напруженні і температурі встановлюється для кожного матеріалу в залежності від його призначення;

6) температура приміщення під час випробування повинна бути по можливості постійною. Коливання її не повинні перевищувати $\pm 5^{\circ}\text{C}$;

7) після закінчення випробувань на повзучість зразок розвантажують до величини попереднього навантаження і визначають абсолютну величину залишкового видовження. Визначення границі повзучості повинно проводитись при допусках на видовження в межах від 0,1 до 1,0 % при тривалості випробувань 100, 300, 500, 1000 годин, якщо по умовах випробувань не потрібна інша тривалість або інший допуск на деформацію.

У випадку визначення границі повзучості по швидкості повзучості, тривалість випробувань повинна тривати не менше 2000 – 3000 годин при

умові тривалості прямолінійної ділянки кривої повзучості не менше 500 годин.

3.2.2.4 Підрахунок результатів

Під час підрахунку результатів на повзучість:

1) процес випробувань відображають у вигляді первинної кривої повзучості в координатах. Відносне видовження у відсотках - по осі координат і час в годинах - по осі абсцис (рис. 3.25).

де: δ_n - видовження при навантаженні, %;

δ_n - повне (пружне + залишкове) видовження на криволінійній ділянці, %;

δ_c - сумарне (пружне + залишкове) видовження за час випробування, %;

δ_y - пружне видовження, %;

δ_0 - залишкове видовження, %

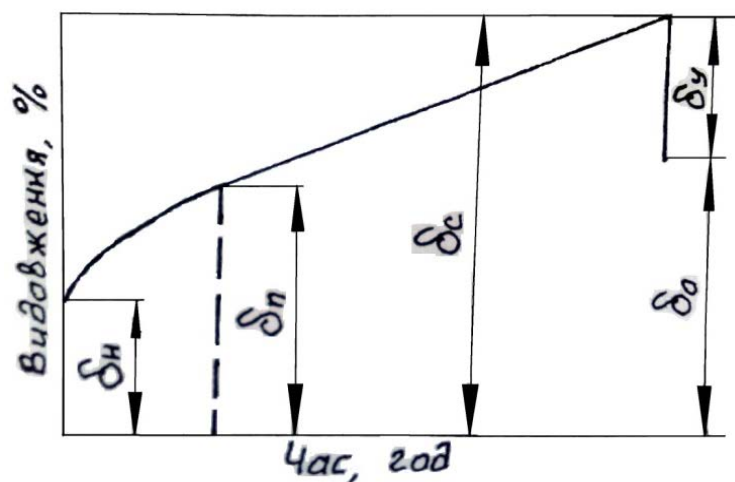


Рисунок 3.25 - Крива повзучості

2) умовна межа повзучості - напруження, які визивають за встановлений час випробувань при даній температурі, задане видовження зразка (сумарне або залишкове), або задану швидкість повзучості на прямолінійній ділянці кривої повзучості;

3) визначення умовної межі повзучості повинно проводитися наступним чином:

а) випробовують не менше чотирьох зразків при заданій температурі і різних напруженнях;

б) на основі отриманих кривих повзучості будують діаграми залежності між напруженням і видовженням, або між напруженням і середньою рівномірною швидкістю повзучості на прямолінійній ділянці в логарифмічній системі координат, але допускається і інша система координат. За цими діаграмами знаходять необхідне напруження;

в) після знаходження необхідного напруження, не менше ніж при трьох різних температурах випробувань будують діаграму залежності напруження від температури.

При визначенні за величиною деформації, межа повзучості позначається буквою з трьома індексами, наприклад: - $\delta_{0,2/100}^{700}$,

де 700 – температура випробувань, °С;

0,2 –(допуск на деформацію) задане видовження (сумарне або залишкове) в % при тривалості випробувань – 100 год.

При цьому, необхідно додатково вказувати по сумарній по залишковій деформації визначалася межа повзучості, у випадку визначення по швидкості повзучості, межа повзучості позначається з двома числовими індексами:

а) нижній - задана швидкість повзучості, в %/год;

б) верхній — температура, °С.

При цьому необхідно додатково вказувати час випробувань, за який була отримана задана швидкість повзучості.

Результати випробувань по кожному зразку оформляють у вигляді таблиці.

3.2.2.5 Форма запису результатів випробувань металів на повзучість

Оформляють результати випробувань на повзучість за наступною формою:

А. Матеріал:

- 1) найменування, марка по відповідному стандарту;
- 2) хімічний склад;
- 3) спосіб виплавлення, тип печі, розмір відливки чи заготовки;
- 4) форма (листовий прокат, труба, відливка та ін.);
- 5) види і режими термооброблення;
- 6) механічні властивості (видовження, поперечне звуження, ударна в'язкість, твердість, тимчасовий опір, межа текучості);
- 7) мікроструктура і величина зерна.

Б. Зразки:

- 1) з якого місця вирізаний зразок (відстань осі зразка від осі відливки, заготовки чи виробу, поздовжній, поперечний);
- 2) розміри розрахункової частини зразка (довжина, діаметр, поперечний переріз в міліметрах до і після випробувань, вимірювання в приміщенні, де проводяться випробування).

В. Устаткування і апаратура:

- 1) тип установки для випробувань;
- 2) точність вимірювання деформації (абсолютна);
- 3) точність вимірювання температури.

3.3 МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ НА СТИСК, КРУЧЕННЯ І ЗРІЗ

3.3.1 Випробування на стиск

За результатами статичних випробувань зразків на стиск визначають наступні механічні характеристики матеріалів:

- 1) модуль пружності, $E_{\text{пр}}$;
- 2) границю пружності, $\sigma_{\text{пр}}$;
- 3) границю пропорційності, $\sigma_{\text{пц}}$;
- 4) фізичну границю текучості, $\sigma_{\text{т}}$;
- 5) умовну границю текучості, $\sigma_{0,2}$;

б) границю міцност, σ_m .

Механічні характеристики зразків, визначені випробуванням на стиск, необхідні для вибору металу, сплавів і обґрунтування конструкторських розробок машин і вузлів; для статистичного приймального контролю і оцінки якості металу; для розроблення технологічних процесів і проектування виробів; для розрахунків міцності деталей машин і визначення критичного напруження, що призводить до втрати стійкості тонкостінних елементів (стояків, профілів, труб та ін.). При статичних випробуваннях на стиск, необхідно враховувати схему напруженого стану, оскільки вона впливає на механічні властивості та характеристики деформації. Нормальні напруження при стиску більше сприяють оптимізації пластичності ніж нормальні напруження під час розтягнення зразка. Отже, чим більша роль напружень стиску в схемі напруженого стану зразка, тим схема вважається м'якшою, оскільки деформаційна здатність (пластичність матеріалу) в такому напруженому стані більша.

Для випробування на стиск використовують циліндричні зразки з гладкими торцями і торцевими виточками (рисунок 3.26).

Для таких матеріалів, як чавун і загартовані сталі, при випробуванні на стиск характерний крихкий злам (рисунок 3.27 а).

До матеріалів, для яких характерне пластичне руйнування, належать свинець, маловуглецеві сталі, деякі алюмінієві, магнієві, нікелеві сплави (рисунок 3.27б).

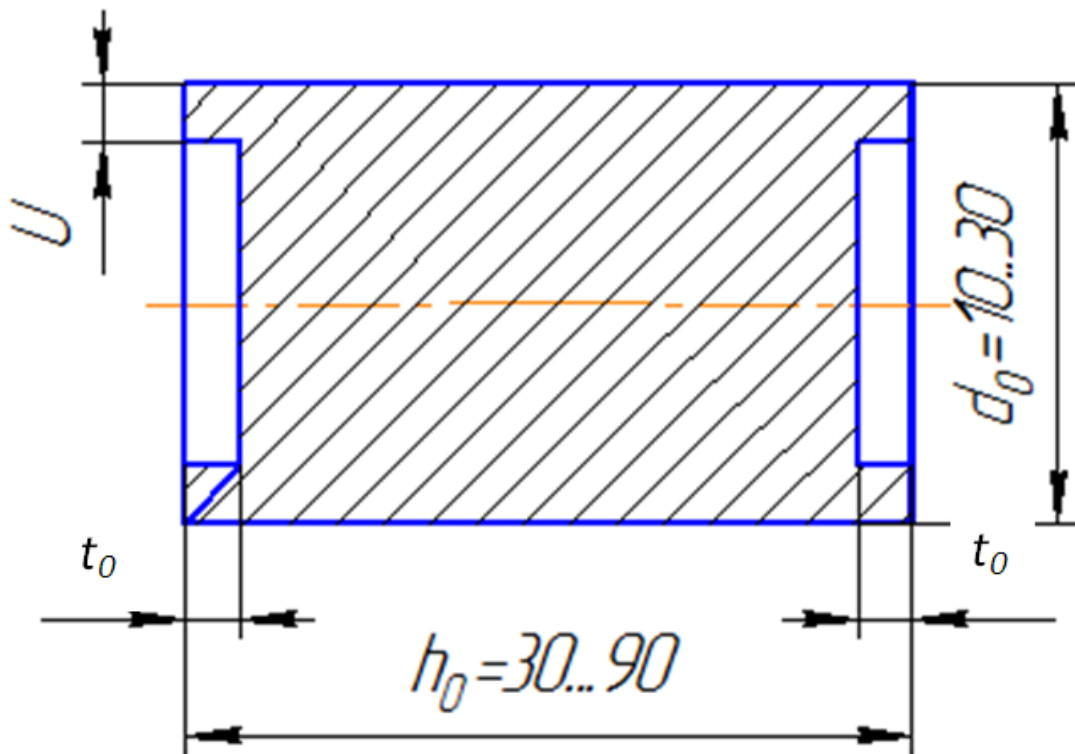
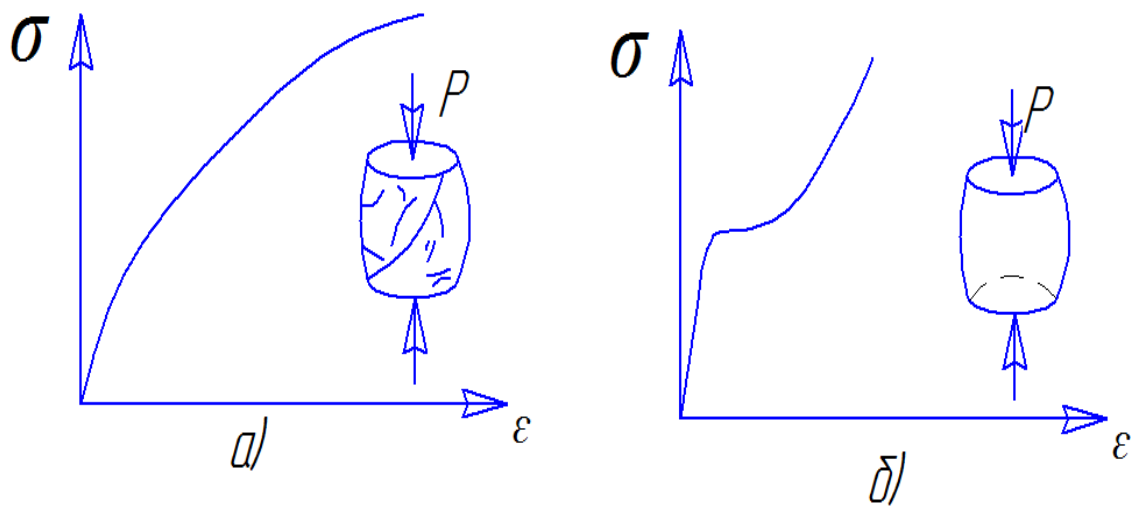


Рисунок 3.26- Випробування на стиск циліндричних зразків з гладкими торцями і торцевими виточками



а) для не пластичних матеріалів – чавуну і загартованої сталі
(характерний крихкий злам);

б) для пластичних матеріалів – маловуглецеві сталі і свинець (характерне пластичне руйнування)

Рисунок 3.27- Характер кривих при випробуваннях на стиск

При стисканні граничною силою проводять випробування на стійкість елементів – стояків , труб, зварних з'єднань та ін., одноразовим і тривалим стисканням до руйнування(втрати стійкості) або до визначеної степені деформації.

В момент вигинання елемента, коли прогин росте без помітного зростання навантаження, визначають критичне напруження втрати стійкості елемента:

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F} , \quad (3.11)$$

де $P_{кр}$ - критична сила; F - площа поперечного перерізу.

Під час тривалих статичних випробувань на стійкість будують криві «напруження-час» $\sigma(t)$ і «деформація-час»- $E(t)$ -оцінюючи стійкість стержня за значенням критичного часу , протягом якого випробовуваний елемент під дією деякого напруження зберігає несучу здатність,

де $\sigma(t)$ – напруження стан, $E(t)$ – деформаційний стан.

Стійкість до дії механічних факторів – здатність виробу виконувати свої функції і зберігати свої параметри, в межах встановлених норм, під час дії механічних факторів.

3.3.2 Випробування на кручення

Кручення - це деформація, при якій вісь призматичного або циліндричного зразка не скривлюється, а кожен його поперечний переріз є повернутим навколо осі по відношенню до початкового положення на деякий кут. Деформація кручення є результатом прикладання до кінців зразка двох однакових за абсолютним значенням моментів, що діють в площинах нормальних до осі зразка і направлених у протилежний бік. Випробування на кручення на відміну від інших методів, дозволяє встановити чіткий зв'язок міцності металу з характером руйнування. Цим випробуванням в основному піддають пластичні матеріали, а також вироби, що пройшли термічне

оброблення /загартування/. Методика випробувань встановлена державними стандартами на чорні і кольорові метали та сплави, та на вироби з них. Випробування проводять при температурі $+20^{\circ}\text{C}$, де допуск верхній $+15^{\circ}\text{C}$, а нижній -10°C для визначення механічних характеристик матеріалів і характеру руйнування при крученні. За результатами випробувань зразків на кручення визначають модуль зсуву, межу пропорційності, межу текучості фізичну і умовну, межу міцності максимальний залишковий зсув і характер руйнування (зріз або відрив). При цьому, використовують циліндричні зразки з діаметром робочої частини 10 мм і розрахунковою довжиною 50 та 100 мм, з головками на кінцях для закріплення у випробувальній машині. Один кінець зразка закріплюють нерухомо, а до другого прикладають пару сил у площині, що перпендикулярна до осі зразка так, що виникає крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = F \cdot d , \quad (3.12)$$

де F - діюча сила;

d - діаметр зразка,

При скрученні всі поперечні перерізи зразка зсуваються (обертаються) навколо загальної осі по відношенню до закріпленого перерізу (рис. 3.28).

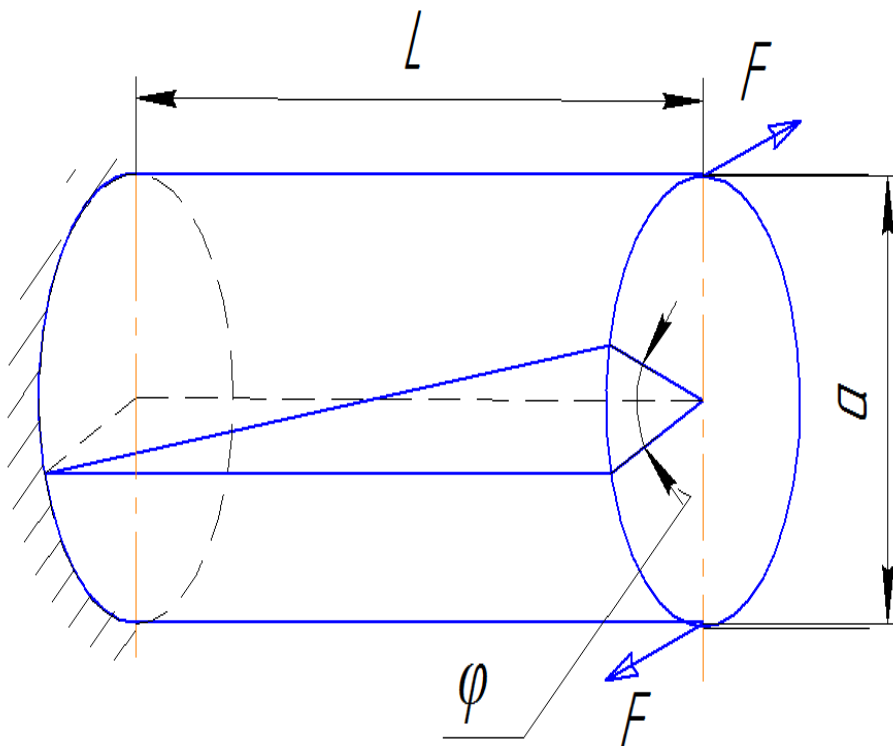


Рисунок 3.28 – Схема випробувань зразка на кручення

Зсув збільшується із збільшенням відстані від місця закріплення, причому лінії, що паралельні осі зразка переходять у гвинтові. Зсув, що відбувається в двох сусідніх поперечних перерізах визначається кутом кручення (φ) і пропорційний відстані між цими площинами. При крученні в поперечних і поздовжніх перерізах зразка, що проходить через його вісь, діють тільки дотичні напруження, які найбільші на поверхні. В перерізах нахилених до осі виникають нормальні напруження (розтягнення в одному напрямі і стиск перпендикулярно до нього), найбільші головні нормальні напруження діють біля поверхні площадки, нахиленої під кутом 45° до осі де вони рівні найбільшим дотичним напруженням.

Залишкова деформація для межі пружності і текучості при крученні в 2 рази більша, ніж при розтягненні. Після досягнення тимчасового опору при крученні відбувається руйнування або в площинні поперечного перерізу, або з утворенням розшарувань у поздовжньому напрямку. У крихких матеріалів площина руйнування відповідає площинам по яких діють найбільші нормальні напруження. Оскільки ці площини утворюють кут 45° з віссю зразка, то злам має вигляд гвинтової поверхні.

Найпростішим способом вимірювання кута кручення є вимірювання взаємного повороту двох закріплених головок зразка.

Для визначення кута кручення до руйнування, можна на його поверхню нанести лінію, паралельну до осі зразка і виміряти її зміну при з'єднанні двох половинок зразка після зруйнування.

3.3.3 Випробування на зріз

Зразок навантажують двома силами (F), які діють в одній площині. Виникає фактично пара сил з плечем (a) (рисунок 3.29), тобто додаткові напруження згину. На практиці, найчастіше випробування проводять на подвійний зріз.

Оскільки випробуванням на зріз не досягають визначеного напруженого стану, а встановлюють тільки максимальну силу (F_{max}) необхідну для зрізу, яку беруть за основу при розрахунках. При ідеальних умовах рівномірного напруження поперечного перерізу опір зрізу при випробуванні на подвійний зріз ($\tau_{зр}$) визначають за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{P_{max}}{2 * A_0} , \quad (3.13)$$

Для відпалених сталей і титанових сплавів $\tau_{зр} \approx 0,7\sigma_m$, для високо- і середньоміцних сталей $\tau_{зр} \approx (0,6 - 0,65)\sigma_m$, для алюмінієвих сплавів $\tau_{зр} \approx 0,5\sigma_m$.

Випробування на зріз проводяться для оцінки сталей, які застосовують для виготовлення болтів, шпонок і заклепок.

Випробування на зріз крученням застосовують для точкових зварних з'єднань. Для цього, в одній точці зварюють два квадрати (дві пластини квадратної форми посередині зварюють точкою) виготовлених із листового матеріалу. Квадрати повинні бути прокручені, перед зварюванням, один відносно одного на 45° (рис.3.30). Потім один із квадратів жорстко закріплюють в лещатах, а інший повертають гайковим ключем доти, поки не зруйнується точкове зварне з'єднання.

Сторона квадрата 55 мм. Внаслідок руйнування здійснюється визначення сили, що необхідна для цього зварного з'єднання на зріз даної точки. Цей метод відрізняється від випробувань на відрив, при яких зразок не завжди руйнується за зварним швом.

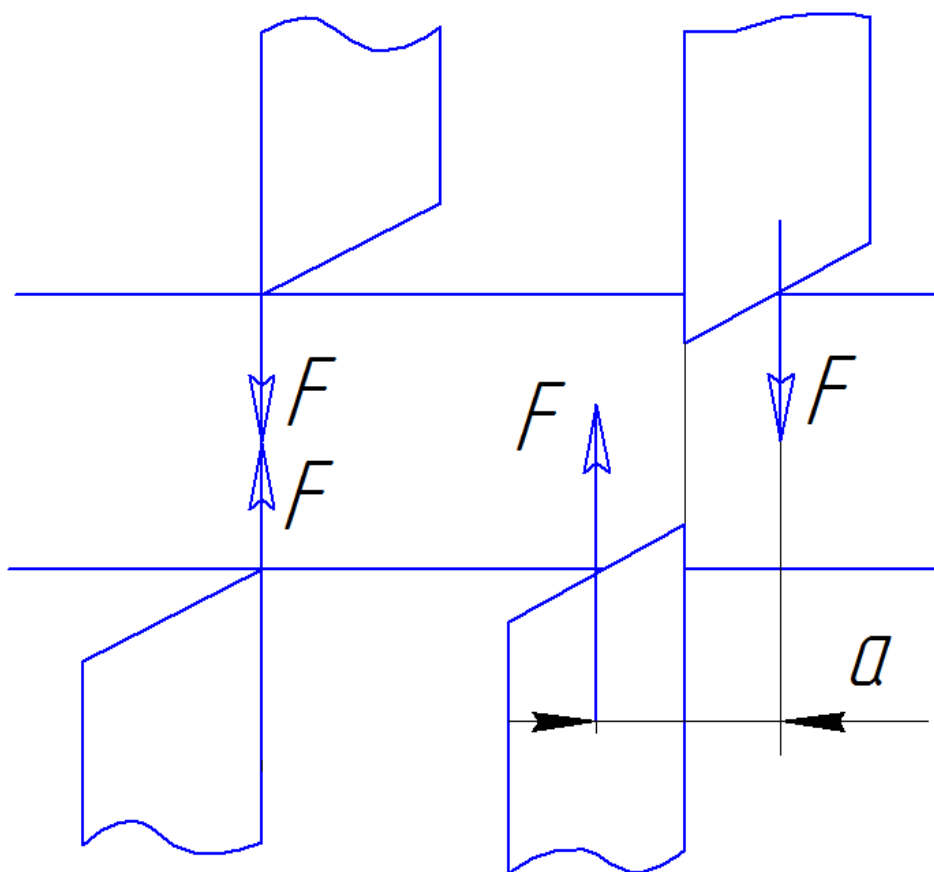


Рисунок 3.29 – Схема випробувань зразка на зріз. Зразок навантажують двома силами F , які діють в одній площині

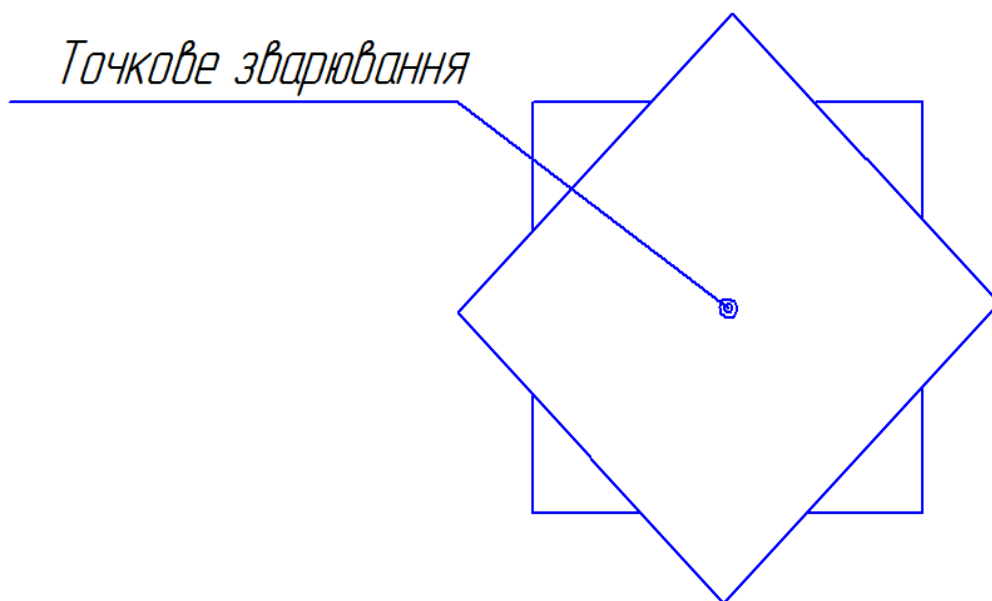


Рисунок 3.30 – Схема випробувань зразка на зріз крученням для точкових зварних з'єднань

3.4 Методи технологічних випробувань на згин

ГОСТ 14019-68. Даний стандарт розповсюджується на стрічку, полосовий, широкополосовий, листовий, сортовий, фасонний і періодичний профіль, прокат із металів і сплавів, а також на поковки і відливки та встановлює методи технологічних випробувань на згин при нормальній температурі, в нагрітому стані і на незагартовуваність.

Випробування на згин служать для визначення здатності металу витримувати задану пластичну деформацію, що характеризується кутом згину або для оцінки граничної пластичності металу при згині.

Гранична пластичність характеризується кутом згину до утворення першої тріщини.

3.4.1 Загальні вказівки

При випробуваннях на згин передбачено наступні умовні позначення:

- 1) товщина зразка - a , мм;
- 2) ширина зразка - b , мм;
- 3) довжина зразка - L , мм;
- 4) діаметр зразка - D , мм;
- 5) кут згину - α , в градусах;
- 6) товщина оправки - d , мм;
- 7) відстань між опорами - l , мм;
- 8) радіус заокруглення оправки - r , мм;
- 9) кут нахилу між поверхнями пристрою V - подібної форми - β в градусах.

3.4.2 Устаткування для випробувань

Випробування на згин проводяться на випробувальних машинах або пресах. Зразки товщиною до 4 мм дозволяється випробовувати на згин навколо жорстко закріпленої в лещатах оправки.

3.4.3 Підготовки до випробувань

Підготовки до випробувань на згин проводять в наступній послідовності:

1) місця вирізання заготовок для виготовлення зразків на згин встановлюють у відповідності з ГОСТ 7564-73 крім випадків, коли в стандартах або технічних умовах на продукцію ставляться особливі вимоги до виготовлення зразків;

2) при вирізанні заготовок для зразків повинні бути забезпеченні допуски, що запобігають метал зразків від впливу нагрівання чи наклепу. Величина допусків повинна відповідати вимогам цього ж ГОСТ 7564-73;

3) при виготовленні плоского зразка на його гранях, після механічного оброблення, не повинно бути поперечних рисок від ріжучого інструменту. Параметр шорсткості (R_a) поверхні зразка після механічного оброблення повинен бути не більше 6.3 мкм за ГОСТ 2789-73;

4) гострі кромки зразків повинні бути притуплені. Радіус заокруглення не повинен перевищувати 0,2 від товщини матеріалу і повинен бути не більше 3 мм. Механічне оброблення проводять вздовж зразка. Допускається проведення випробувань на зразках з непритупленими кромками, якщо при випробуваннях таких зразків отримують задовільні результати;

5) товщину (діаметр) зразків для випробувань на згин, які відбирають із прокату різних видів, встановлюють згідно ГОСТ 7564-73. Ширина зразка повинна бути рівна двом товщинам прокату ($b=2a$). При чому, для прокату товщиною 5 мм і менше, ширина зразка повинна бути рівною 10 мм. Ширина зразків, проструганих до товщини 20 мм приймають рівною 30 мм, при цьому, на одному боці зразків повинна зберігатися поверхня прокату, яка при згині повинна знаходитись з зовнішнього боку;

6) допускається, за винятком випадків арбітражних випробувань проводити згин на зразках:

а) зразків вирізаних із полосового, широкополосового, листового і фасонного прокату товщиною більше 30 мм без стругання (зі збереженням

поверхні прокату на двох протилежних боках), шириною рівною двом товщинам прокату;

б) зразків сортового прокату товщиною (діаметром) більше 35 мм без додаткового оброблення;

7) при масових контрольних випробуваннях, з метою спрощення виготовлення зразків для групи зразків різної товщини, допускається встановлювати однакову ширину, що дорівнює подвійній максимальній товщині зразка цієї групи. Розбивку на групи рекомендується проводити з інтервалом в 5 мм наступним чином: 5 мм і менше ; від 5 мм до 10 мм та інш.;

8) розміри зразків для випробувань на згин, які відбираються із поковок і відливок, встановлюють у відповідності із стандартом або технічними умовами на продукцію, а при їх відсутності, товщину зразка приймають рівною 20 ± 5 мм. При випробуванні на згин відливок або поковок товщиною менше 20 мм, товщина зразків повинна дорівнювати товщині матеріалу, а ширина рівна двом товщина зразка;

9) довжину зразка, якщо вона не обумовлена в стандартах або ТУ на продукцію, встановлюють в залежності від товщини матеріалу і оправки, і орієнтовну довжину зразка (L) дорівнює:

$$L = 2(a + b) - (150 \dots 100), \quad (3.14)$$

10) перед випробуванням допускається виправлення зразків. Зразки, призначені для випробувань на згин, при нормальній температурі і в нагрітому стані, виправляють при нормальній температурі. Зразки, що призначені для випробувань на не загартовуваність згином, виправляють в нагрітому стані;

11) на середній третій довжини зразка не допускаються дефекти металургійного виробництва (тріщини, раковини та інш.), а також механічні пошкодження. Маркування повинно проводитись на кінцях зразка.

3.4.4 Проведення випробувань

Випробування на згин проводять в наступній послідовності:

1) зразок з постійною площею поперечного перерізу піддають згину зосередженим навантаженням в середині між опорами (рис.3.31);

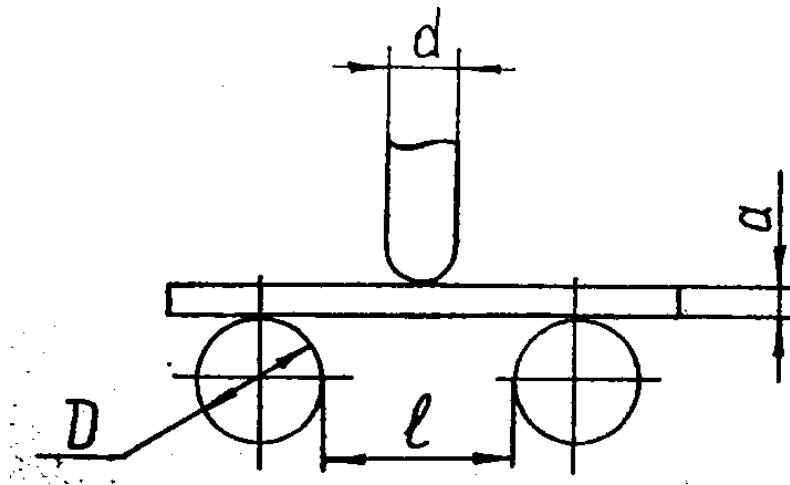


Рисунок 3.31- Випробування на згин зосередженою силою в середині між опорами

2) випробування на згин можуть проводитися:

- а) до заданого кута згину;
- б) до появи першої тріщини в розтягнутій зоні зразка з фіксацією кута згину;
- в) до паралельності сторін;
- г) до дотикання сторін.

Вид згину повинен бути обумовлений стандартом або технічними умовами на виготовлення продукції;

3) випробування на згин проводять при плавному збільшенні навантаження на зразок. При випробуваннях до появи першої тріщини з фіксацією кута згину, швидкість випробувань не повинна перевищувати 15 мм/хв.;

4) випробування на згин до заданого кута можна проводити наступними способами:

- а) зразок, що лежить на двох горизонтально-паралельних опорах за допомогою оправки згинають до заданого кута (α) між одною стороною зразка і продовженням другої (рис.3.32). При встановленні на опори поздовжня вісь зразка повинна бути перпендикулярна осі згину. Кут згину вимірюють без

зняття навантажень. Допускається проводити вимірювання кута після зняття навантаження при умові відповідності величини заміряного кута згину вимогам стандартів або ТУ на продукцію;

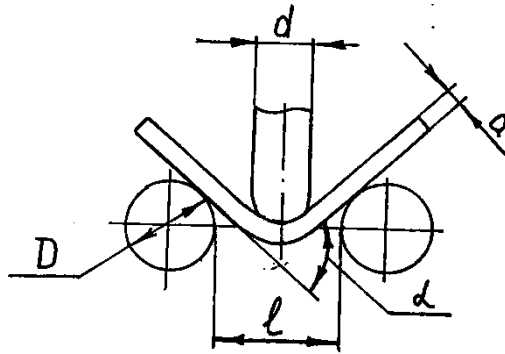


Рисунок 3.32- Випробування на згин до заданого кута (α)

б) ширина оправки і опор повинна бути більша ширини зразка. Товщину оправки встановлюють у відповідності із вказівками стандарту або технічних умов на продукцію. При відсутності таких вказівок товщину оправки приймають рівною двом товщина (діаметрам) випробуваного зразка;

в) відстань між опорами, якщо вона не обумовлена в стандартах або ТУ приймається рівною $d+2a$ з заокругленням до 1 мм в більшу сторону;

5) допускається проводити випробування на згин до заданого кута на спеціальних пристосуваннях, які мають зглиблення U-або V- подібної форми (рис.3.33).

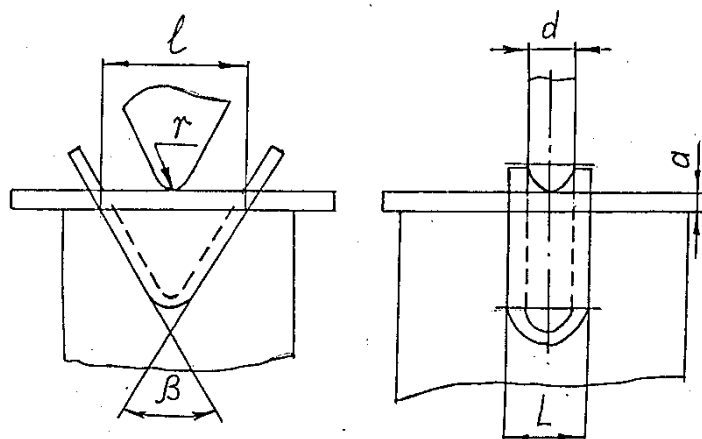


Рисунок 3.33- Випробування на згин до заданого кута на спеціальних пристосуваннях з заглибленнями U – або V – подібної форми

При згині зразків із застосуванням пристосувань U- або V- подібної форми в стандартах або ТУ на продукцію обумовлюють радіус заокруглення

оправки. Для пристосувань з V- подібним заглибленням, обумовлюють також кут (β) між нахиленими площинами. Ширина опор і оправки повинна бути більшою ширини зразків. Гострі кромки опор повинні бути притуплені;

6) при випробуваннях на згин на жорстко закріплених в тисках оправки, зразок одним кінцем затискують в тисках і згинають на заданий кут (α) (рис.3.34). Радіус оправки обумовлюють в стандартах або ТУ на продукцію;

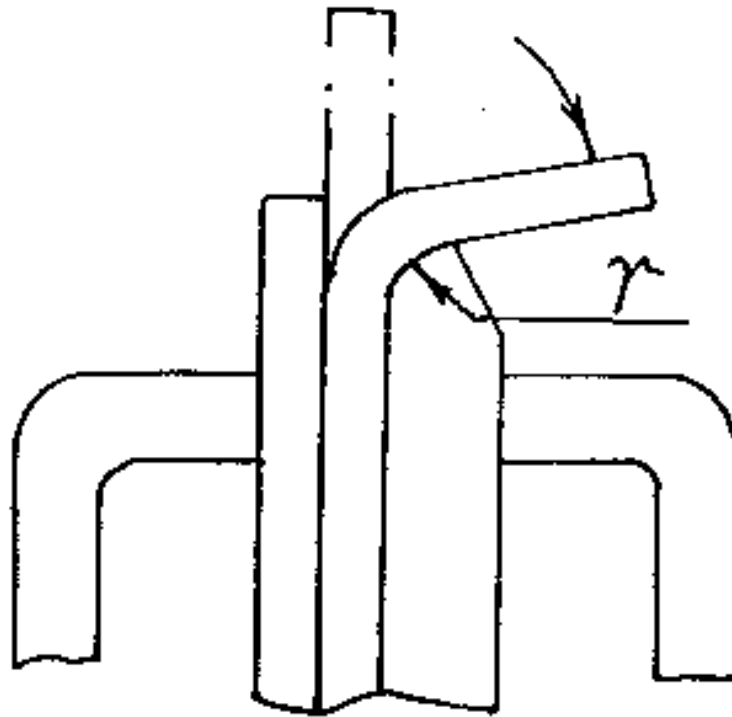


Рисунок 3.34- Випробування на згин до заданого кута (α) на жорстко закріплених в тисках оправки

7) випробування на згин до появи першої тріщини проводять за тією ж методикою, що і на згин до заданого кута. Кут згину (α) вимірюють після зняття навантаження (рис.3.35).

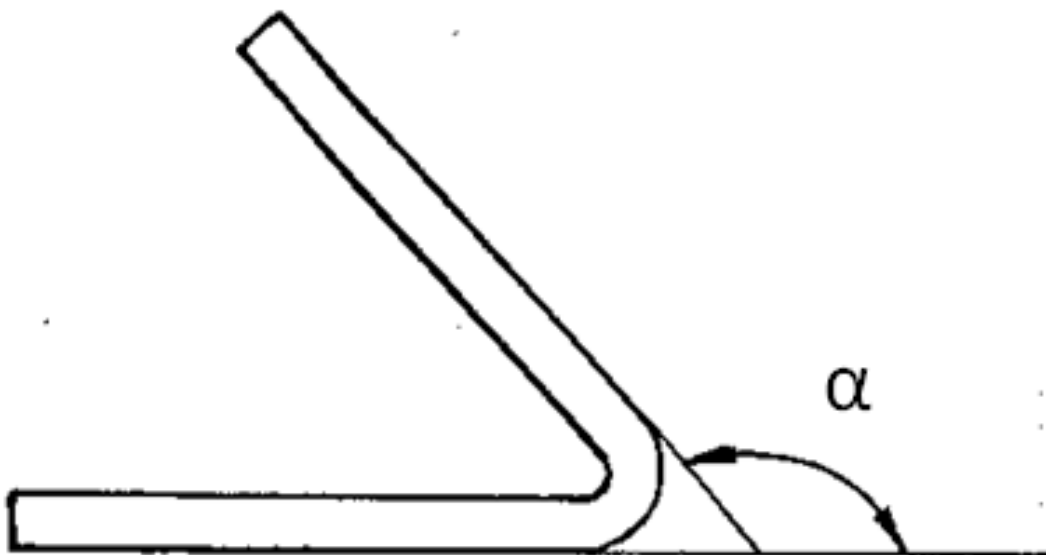


Рисунок 3.35- Випробування на згин до появи першої тріщини

8) випробування на згин до паралельності сторін проводяться після попереднього згину зразка на кут не менше 150° у відповідності з вимогами даного стандарту по схемах наведених на рисунках 3.32, 3.33 і 3.34.

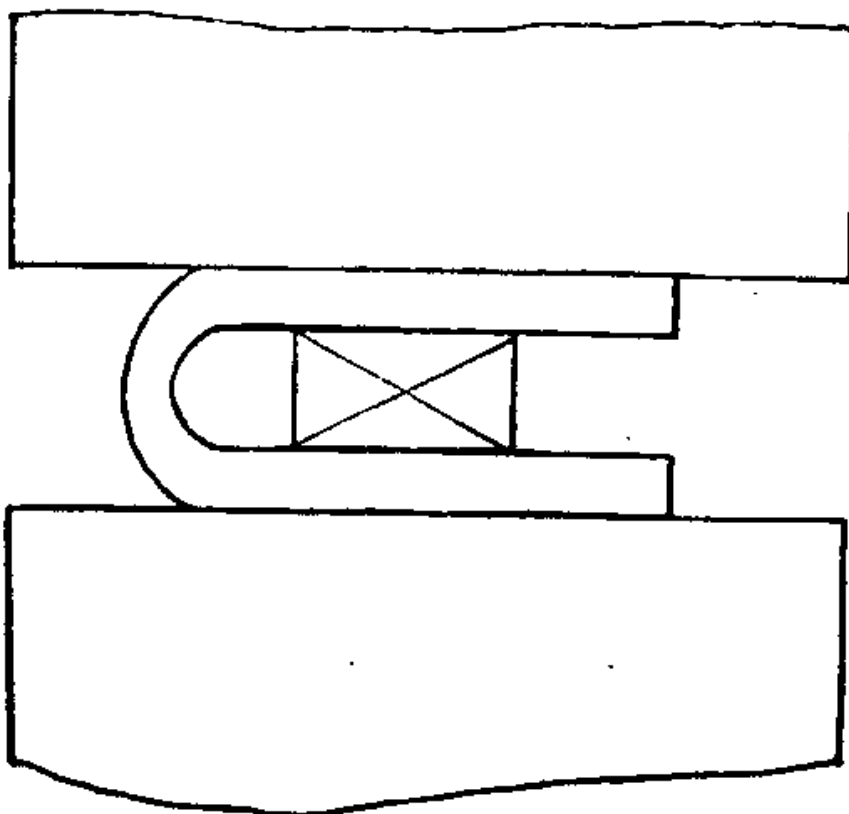


Рисунок 3.36 – Випробування на згин до паралельності сторін зразка

Догин продовжується між паралельними площинами до дотику сторін зразка з прокладкою, товщина якої рівна товщині (діаметру) оправки (рис.3.36). Якщо товщина оправки, обумовлена стандартами або ТУ на продукцію менше товщини прокату, то попередній згин на кут не менше 150° допускається проводити на оправці, товщина якої рівна товщині прокату. При догинанні до паралельності сторін застосовують прокладку товщиною рівною товщині оправки, вказаної в стандартах або ТУ на продукцію. Допускається, крім випадків арбітражних випробувань, проводити згин до паралельності сторін без наступного догинання між паралельними площинами із застосуванням прокладки. В цьому випадку відстань між опорами (l) повинна бути рівною:

$$l = 2,1a + d, \quad (2)$$

9) випробування на згин до дотику сторін зразків проводять після згину зразків на кут не менше 150° у відповідності з вимогами даного стандарту із схем, представлених на рисунках 3.32, 3.33 і 3.34. Догинання зразків до дотику продовжують між двома паралельними площинами плавно із зростаючим зусиллям до дотику сторін зразка з утворенням природньої петлі. Опорні поверхні повинні бути більше половини довжини зразка (рис.3.37).

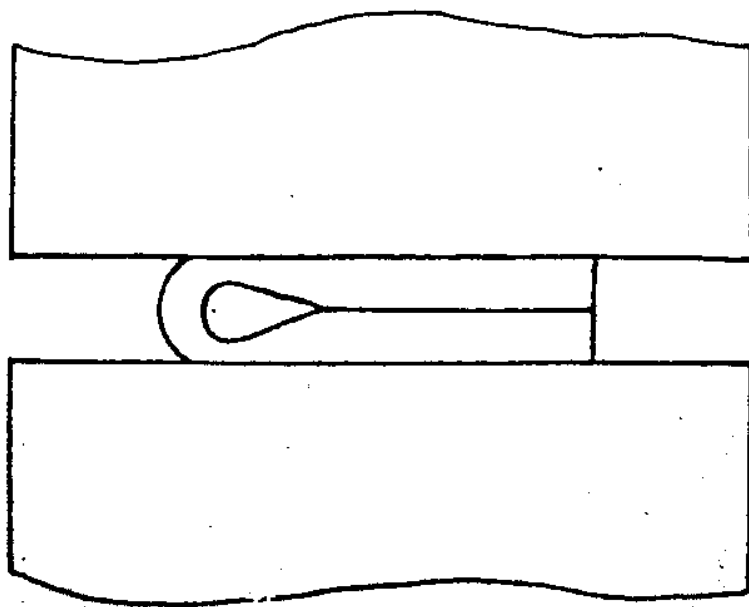


Рисунок 3.37- Випробування на згин до дотику сторін зразка

10) випробування на згин проводять, як правило, при нормальній температурі. При наявності в стандартах або ТУ на продукцію вимог, можна згідно цих вимог випробування на згин проводити в нагрітому стані. Пристосування, які застосовують для згину зразків в нагрітому стані, спеціальному нагріванню не піддають;

11) випробування згином на незагартованість служить для визначення здатності металу сприймати заданий по розмірах і формі згин після різкої зміни температури. При проведенні випробувань на згин для визначення незагартованості згином зразок, попередньо нагрівають до температури 650-750⁰С і охолоджують в воді, температура якої 20-30⁰С. Якщо немає інших вимог в стандартах або ТУ на продукцію. Випробування на згин проводять після повного охолодження зразка.

3.4.5 Визначення результатів випробувань

Після випробувань оглядають кромки і зовнішню поверхню зігнутої частини зразка. Визначення результатів випробувань проводять у відповідності з вимогами стандартів або ТУ на продукцію, а якщо таких вказівок не має, то ознакою того, що зразок витримав випробування на згин є відсутність зламу, відшарувань, надривів і тріщин які можна виявити неозброєним оком. При випробуваннях на згин, з метою визначення граничної пластичності, момент появи першої тріщини встановлюють неозброєним оком.

3.4.6. Випробування на згин зварних з'єднань

Випробування на згин зварних з'єднань проводять з метою визначення пластичних чи пружних деформацій. Для цього спеціально використовують спеціальні зразки (рис.3.38).

Випробують зразки на згин зварних з'єднань згідно схеми наведеної на рисунку 3.39. При випробуванні однобічних швів в розтягнутій зоні повинен

знаходиться верхній шар металу , а при багатошаровому - шов зварений останнім повинен бути в розтягнутій зоні. Для відповідальних виробів чи

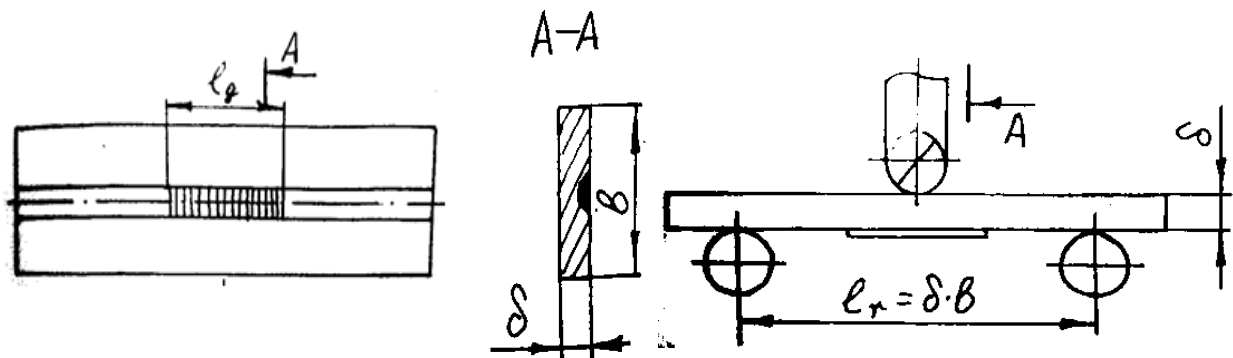


Рисунок 3.38 - Випробування на згин наплавленого металу ($\delta=20-30$ мм)

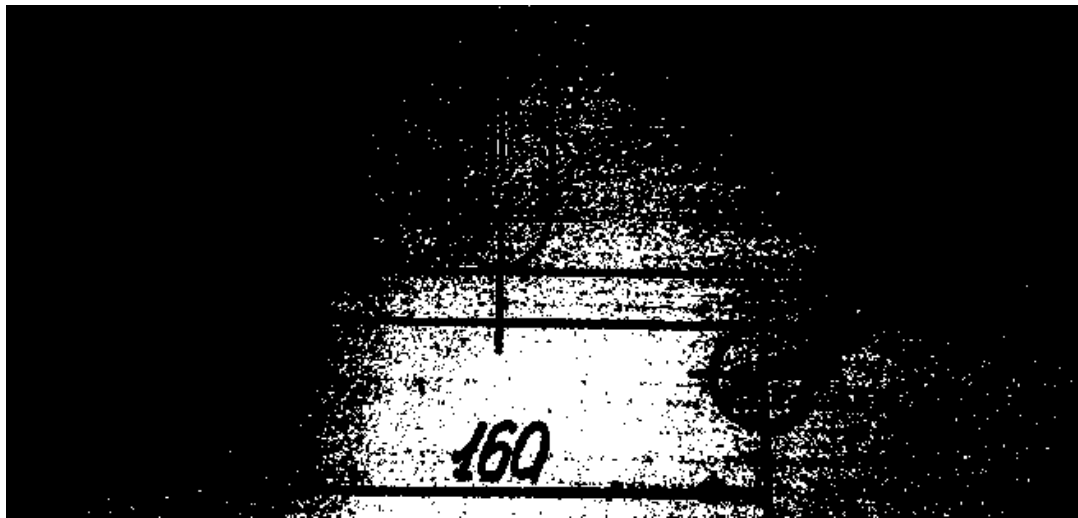


Рисунок 3.39- Випробування на згин пластини розміром 250x60x12 мм, на яку наплавлений поперечний шов (зразки типу «дутиле»)

конструкцій рахується задовільним кут згину, що знаходиться в межах $120-180^{\circ}$ (рис.3.40). Кут згину, при якому з'являється перша тріщина, а при її відсутності випробування проводять і закінчують до згину паралельності сторін.

Характеристики міцності та пластичності при згині визначають за двома схемами випробувань:

- 1) триточковий згин;
- 2) чотириточковий згин.

При триточковому згині найбільший згинаючий момент виникає під впливом зосередженої сили, яка прикладена в середині зразка, а в точці прикладання навантаження виникає найбільший пружний прогин. Характеристикою міцності, що відповідає цьому згину є умовний тимчасовий опір при згині. У випадку чітко вираженої площадки текучості визначають умовну границю текучості під час згину.

При чотириточковому згині діюче на зразок навантаження прикладене в двох місцях на деякій відстані від опор. У цьому випадку між точками прикладання навантаження не виникає сил зрізу. На відміну від триточкового згину при чотириточковому згині зварного зразка внаслідок постійності згинного моменту між точками прикладання навантаження створюються умови, за яких отримані результати випробувань правильно характеризують матеріал тієї чи іншої зони, по якій відбулося руйнування (зварний шов, лінія сплавлення, біляшовна зона, основний метал). При випробуваннях на згин застосовують циліндричні або призматичні зразки. Схеми випробувань наплавленого металу товщиною 20-30мм на згин наведені на рисунку 3.38. Зразок згинають повільно і рівномірно. Якісним показником є кут, при якому руйнується зразок, поверхневий злам, а також кут згину при якому з'являється перша тріщина. До уваги беруть тільки таку тріщину, яка розповсюджується в основний матеріал мінімум на 3 мм від краю зварного шва.

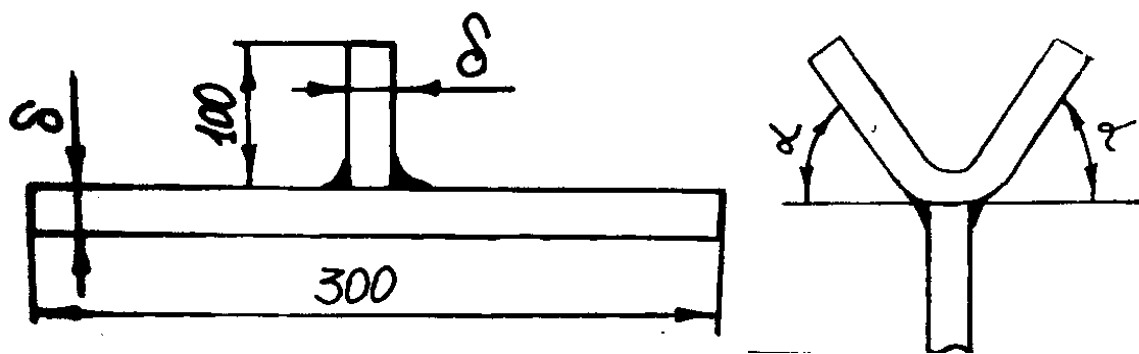


Рисунок 3.40- Випробування на згин кутових швів

У Франції випробовують зразки типу “дутиле” (рис.3.39). Це пластина розміром 250x60x12 мм на якій наплавлений поперечний шов. Зварювання виконують електродом, який дає крихкий метал шва. Після цього, шов знімають до рівня поверхні зразка і піддають плоскому згину. Під час випробувань визначають кут, при якому зразок руйнується, і враховують вид поверхневого зламу.

У США проводять випробування кутових швів, виконаних зварюванням плавленням за схемою, наведеною на рисунку 3.40. Якість оцінюється за визначенням кута (α). Стикові шви, виготовлені зварюванням плавленням, випробовують на плоский згин для оцінки якості зварювання, якщо зразок руйнується за зварним з'єднанням. Для цього, проводять випробування на плоский згин зразка, який непроварений по кореню шва із сторони, яка піддається дії розтягнення. Якщо, після згину на кут 180^0 зразок не руйнується, то тоді можна використовувати зразки з надрізом.

При роботі з плакованими матеріалами, які мають покриття хрому, нікелю або сплавів на основі міді і нікелю, з сумарною товщиною більше 15 мм для випробування стикових швів, виконаних зварюванням плавленням, застосовують боковий згин зразків, внаслідок чого визначають здатність до деформації зовнішніх зон металу, що виникають при зварюванні між основним металом і покриттям та перевіряють міцність зчеплення. Зразки слід вирізати в напрямку, перпендикулярному до зварного шва так, щоб шов знаходився в середині зразка. Зовнішній вигляд зразка для випробувань

наведено на рисунку 3.41. Зварний шов має бути оброблений до рівня поверхні основного матеріалу зразка, краї якого необхідно затупити. На рисунку 3.42 наведена схема проведення випробувань зразків із плакованих матеріалів. Зразок згинають доти, поки на стороні розтягнення не з'явиться надрид. Швидкість переміщення згинаючої оправки повинна складати приблизно 1 мм/сек.

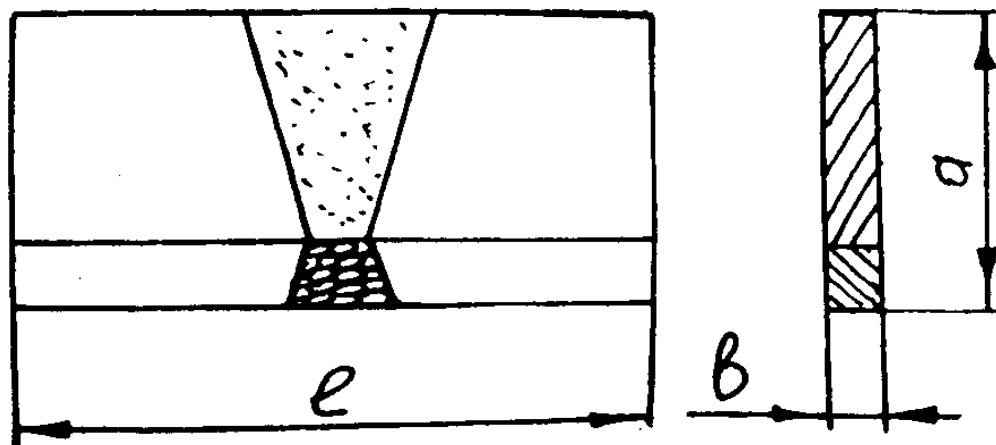


Рисунок 3.41 – Зовнішній вигляд зразка для перевірки на міцність зчеплення плакованих матеріалів

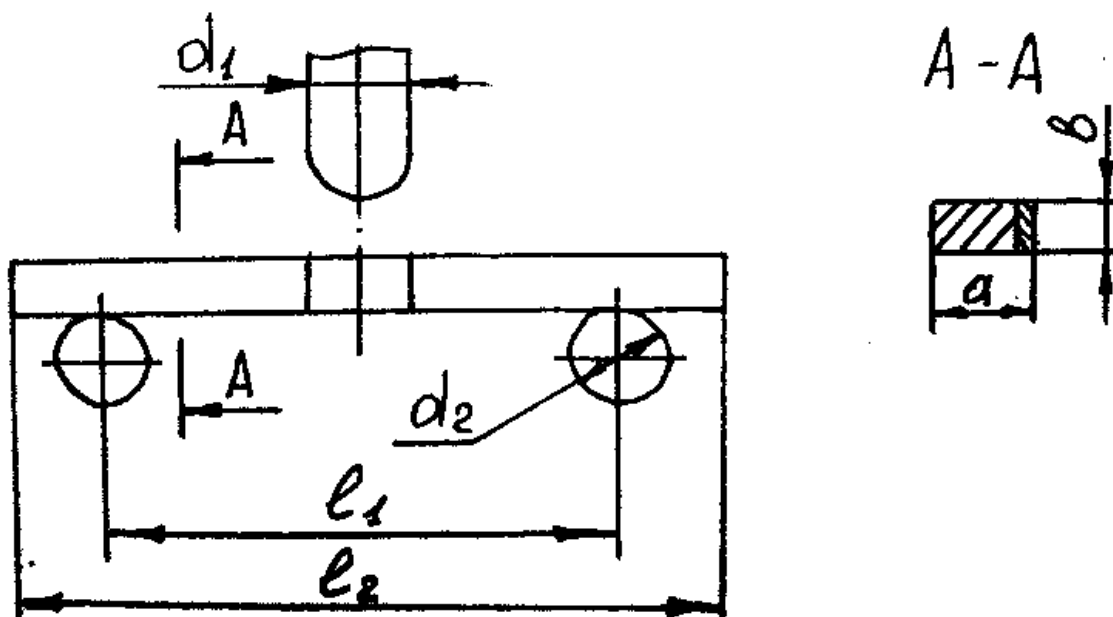


Рисунок 3.42 – Випробування на згин зразків плакованих матеріалів

4. ВИПРОБУВАННЯ ПРИ ПРИКЛАДАННІ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В умовах експлуатації часто виникають ударні дії, наприклад, при переїзді транспортних засобів через мости, при зльоті чи посадці літаків, при пуску ракет, попадання в ціль і вибух снарядів та високошвидкісне оброблення матеріалів також сприяють ударним навантаженням різної величини.

Важливе значення мають механічні характеристики в умовах, що близькі до реальних, коли під дією визначених факторів метали та сплави переходять у крихкий стан (вплив концентраторів напружень, збільшення швидкості деформування, зниження температури тощо). Малий опір металів і сплавів швидкодіючим (ударним) навантаженням є небезпечним для роботи устаткування та механізмів. Через це з багатьох ТУ на виготовлення виробів і конструкцій передбаченні динамічні випробування матеріалів і зварних з'єднань.

При швидкостях деформації, вищих 10^4 s^{-1} , утворюються ударні хвилі, при цьому для низьких швидкостей деформації плоский напружений стан переходить у плоский деформований.

Збільшення швидкостей деформації підвищує напруження текучості. Зрозуміло, що більш важливим моментом при цьому є зниження в'язкості, яке сприяє виникненню макроділянок крихкого зламу, які в металах можна визначити за кристалічними блискучими поверхнями руйнування, тому що площини з'єднання кристалів інтенсивно відбивають світло. На відміну від них у дуже деформованих ділянках в'язкого зламу матовий і волокнистий вигляд. Поява крихкого руйнування є причиною аварій металоконструкцій суден, мостів, посудин високого тиску і трубопроводів.

Причиною виникнення крихкого зламу нарівні з підвищеною швидкістю деформації можуть бути також низькі температури та багатовісний

напружений стан (враховуючи залишкові напруження), концентрація напружень поблизу надрізів і тріщин.

При оцінюванні схильності елементів конструкції до крихкого руйнування необхідно враховували не тільки вплив зовнішніх факторів таких, як швидкість деформації, температуру та напружений стан, а і в'язкість матеріалу, що дуже залежить від його структури й властивостей, тобто може помітно змінюватися у процесі виготовлення та експлуатації виробів внаслідок холодного деформування (наклепу), термооброблення, корозії чи дії випромінювання. Оскільки, процес зварювання пов'язаний з різноманітними тепловими та механічними впливами, необхідно дуже ретельно контролювати властивості зварних з'єднань в умовах ударного навантаження.

4.1 Випробування на ударне розтягнення та ударний стиск

Випробування на ударне розтягнення проводять для визначення механічних властивостей (міцності та пластичності) матеріалу при його розтягненні з великою швидкістю на швидкодіючих розривних машинах, що дозволяють регулювати швидкість руху поршня до 10 м/с. Для більш високих швидкостей деформування поряд з машинами для випробувань на розтягнення з пневматичним приводом використовують маятникові та ротаційні копри. Проводячи випробування при навантаженні вибухом, спалюванням суміші з порохом, можна отримати високу швидкість деформації, при цьому розподілення навантажень у часі варіюється в широких межах дозуванням заряду.

Характеристикою в'язкості є питома робота удару в Дж/мм³, яка розраховується за формулою:

$$W_s = \frac{W}{V}, \quad (4.1)$$

де W - робота, що витрачається на удар, Дж;

V - об'єм середньої ділянки зразка, мм³ (рис 4.1а).

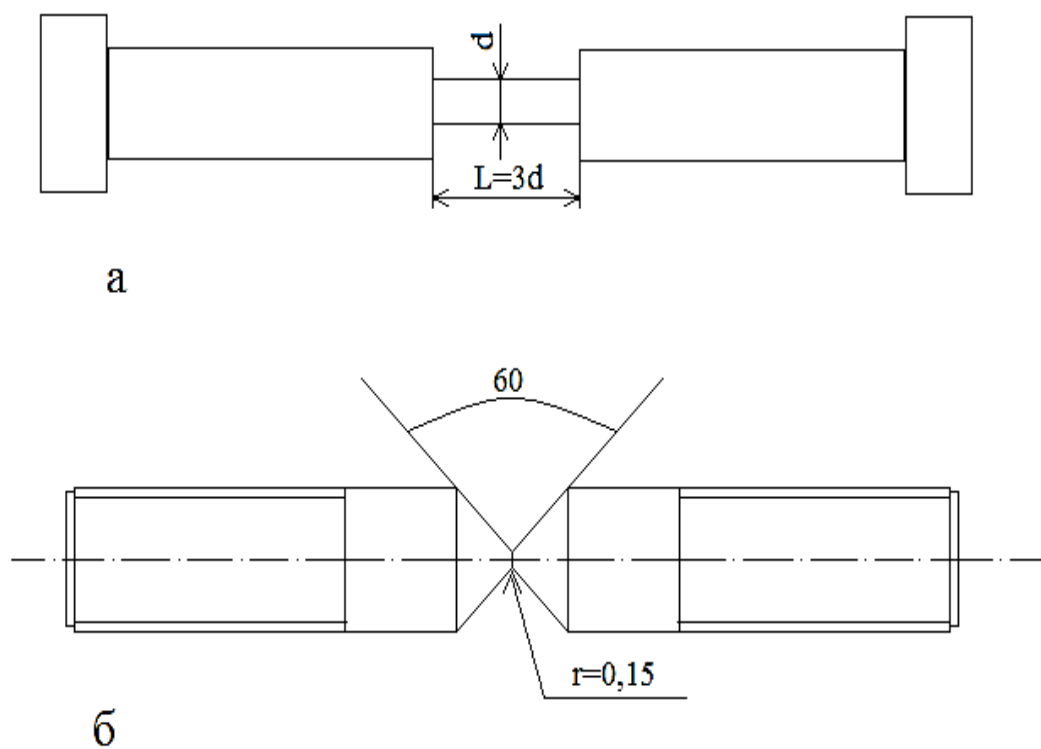


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд зразків для випробовування на ударне розтягнення

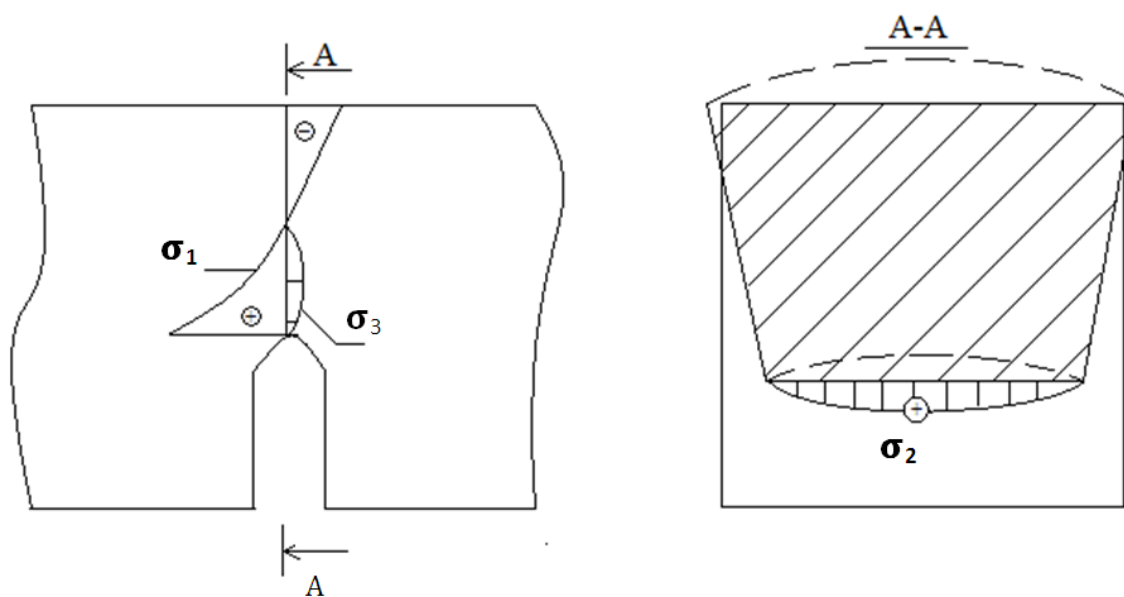


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд зразка, який має надріз в зоні максимальних напружень σ_1 і σ_2 при випробуваннях на ударний згин

Визначення відносного видовження при розриві на зразках, випробуваних на ударне розтягнення, часто утруднено утворенням на зразках кількох шийок. Тому, випробування проводять на зразках з надрізом, який має кут (біля дна надрізу) 60° (рис. 4.1б).

Випробування на ударний стиск рідко використовують для оцінювання властивостей матеріалу. За цим методом використовують циліндричні зразки – $L_0=d_0$, а необхідна для отримання визначеного обтиснення робота удару розраховується на весь об'єм зразка.

4.2 Випробування на ударний згин

Випробування на ударний згин мають велике значення для визначення опору крихкому руйнуванню в'язких металів і зварних з'єднань. Використання зразків з надрізом вказують на схильність випробовуваних матеріалів до крихкого руйнування з двох причин: по-перше, завдяки надрізу усувається поперечне звуження, формується об'ємний напружений стан; по-друге, концентрація деформації в малому об'ємі поблизу надрізу забезпечує високу локальну швидкість деформації. Такі випробування проводяться не тільки для визначення схильності до крихкого руйнування конструкційних сталей, а й для контролю якості оброблення, однорідності структурного стану, для дослідження схильності до старіння. Цей метод – найрозповсюджений (після випробувань на розтягнення) здавальне випробування матеріалів у металургійному і зварювальному виробництві та в металообробній промисловості, що пояснюється його простотою і малими витратами матеріалів.

Метод випробувань на ударний згин при пониженій (до -100°C), кімнатній (до 20°C) та підвищених (до $+100^\circ\text{C}$) температурах регламентований державним стандартом. Він ґрунтується на руйнуванні зраз-

ка одним ударом маятникового копра. Зразок має надріз у зоні максимальних нормальних напружень σ_1 та σ_2 (рис. 4.2).

4.2.1. УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ

УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ - це робота удару, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора (надрізу). Ударне навантаження та надріз у зразку є умовами, що змінюють властивості матеріалів порівняно з їх властивостями при статичних випробуваннях гладких зразків. Пластична деформація концентрується в малому об'ємі, через що деформаційні характеристики зменшуються, а характеристики опору деформації (σ_1 , σ_2 і σ_3) збільшуються, змінюється й характер зламу (сталь стає крихкою). Отже, ударну в'язкість визначають для виявлення крихкості сталей, сплавів і зварних з'єднань.

Результати випробувань на ударний згин не дають конструктору необхідних відомостей для розрахунків на міцність, але вони мають більш важливе значення для технологів. Структурні зміни в металі та зварному з'єднанні (ріст зерна, випадання дисперсних фаз), ті чи інші дефекти структури або оброблення, зміна хімічного складу чи ударних випробувань в значно більшій мірі впливають на ударну в'язкість матеріалу, ніж при статичних випробуваннях.

За підсумками випробувань на ударний згин можна встановити наступні властивості матеріалів: холодноламкість, синеламкість, теплову крихкість, крихкість перекристалізації та ін., які при статичних випробуваннях не завжди можна виявити. Відомо, що деформовані кольорові сплави міді, алюмінію та інших металів недоцільно піддавати випробуванням на ударний згин, тому що вони при різних температурах не виявляють переходу в крихкий стан. Немає необхідності в проведенні ударних випробувань литих сплавів чавуну, литих алюмінієвих та магнієвих сплавів, які руйнуються крихко при статичних випробуваннях на розтягнення. Значення ударної в'язкості істотно залежить від форми та розмірів зразків.

При випробуваннях необхідно використовувати зразки, рекомендовані державними стандартами, а тільки у випадках, коли розміри виробів не дозволяють вирізати стандартний зразок, допускається випробувати зразки із зменшеним перерізом (рис. 4.3). Результати цих випробувань можна порівнювати тільки з результатами випробувань зразків таких самих розмірів. Для кінцевого оброблення зразків застосовують шліфування, для цього зразок встановлюють за допомогою шаблону (рис. 4.4) на опори маятникового копра надрізом вниз так, щоб удар маятника відбувався з боку зразка, протилежного надрізу. Після встановлення зразка виставляють маятник, який при падінні руйнує зразок.

Робота (W_k), як характеристика в'язкості, необхідна для руйнування зразка визначається за різницею енергії маятникового вантажу до і після удару (рис.4.5), Дж:

$$W_e = G(h_1 - h_2) = Gl(\cos\beta - \cos\alpha), \quad (4.2)$$

де G - маса маятникового вантажу.

В загальному випадку прийнято роботу удару (W_k) ділити на вимірювану до випробувань площу поперечного зрізу зразка в площині симетрії надрізу. Цей параметр заокруглюють до цілого числа і називають ударною в'язкістю.

Поряд з ударною в'язкістю матеріалу використовують зовнішній вид мікрозламу і кут згину зразка. Кількісна оцінка зламу передбачає визначення частки кристалічного зламу, тобто частку крихкого руйнування на його поверхні.

Внаслідок випробувань на ударний згин металів і сплавів при температурах до 1000 °С визначають ударну в'язкість матеріалу при заданій температурі або будують залежність ударної в'язкості від температури

нагрівання зразка. При однаковій температурі випробувань, не менше п'яти зразків, проводять статистичне оброблення параметрів руйнування і знаходять середнє значення ударної в'язкості.

При необхідності визначення залежності ударної в'язкості від температури після випробувань на ударну в'язкість в потрібному діапазоні температур будують графік цієї залежності.

При проведенні випробувань зразків на ударну в'язкість, при понижених температурах, випробувальні машини укомплектовують термостатами, які забезпечують рівномірне охолодження, відсутність агресивної дії навколишнього середовища на зразок і можливість контролю температури. Для охолодження можуть бути використані рідкий азот або сухий лід в суміші, наприклад, з етиловим спиртом.

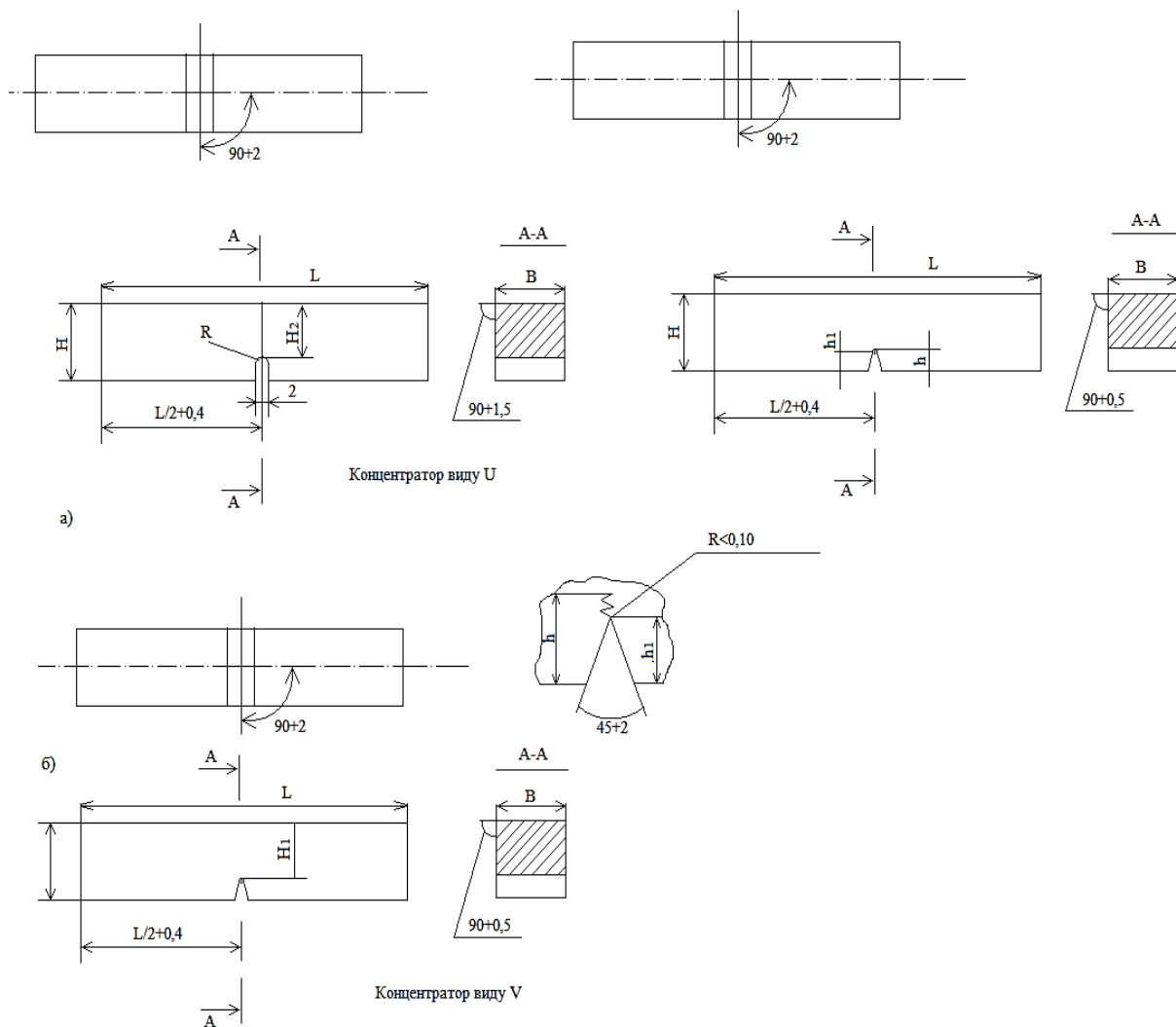


Рисунок 4.3 - Загальний вигляд зразків, рекомендованих державними стандартами

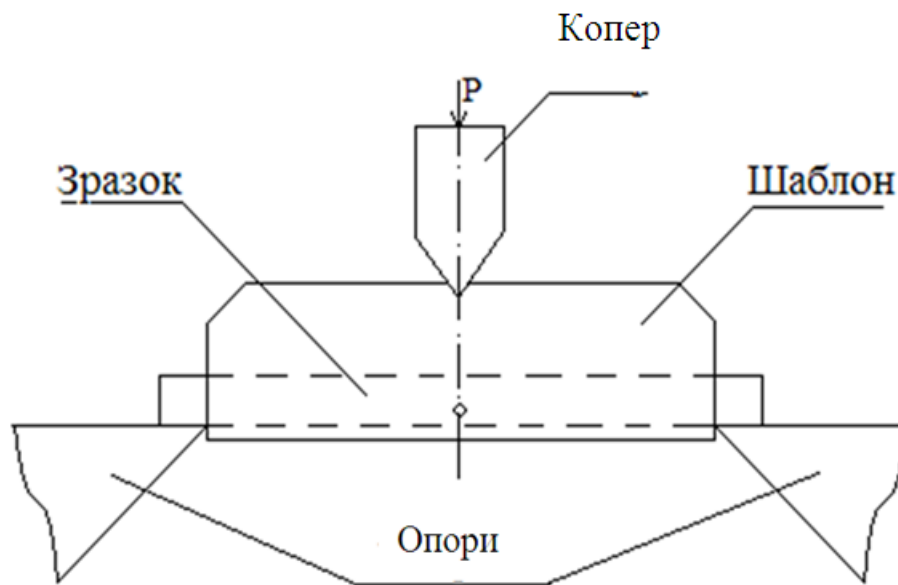


Рисунок 4.4 – Встановлення зразка за допомогою шаблону

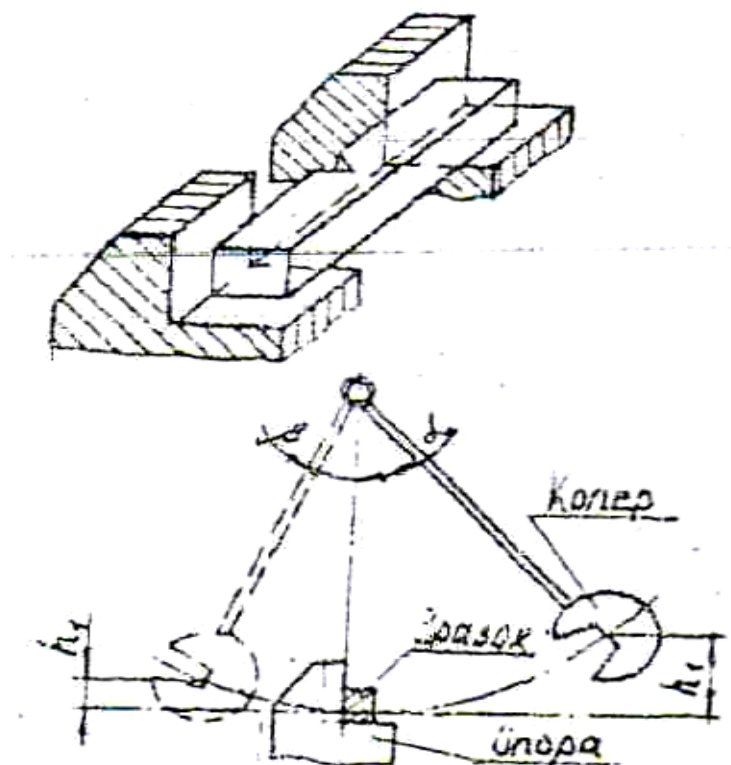


Рисунок 4.5 – Схема випробувань із застосуванням маятникового копра

4.3 Випробування зразків, що імітують конструкції

Методом випробування на ударний згин ще не можливо точно охарактеризувати схильність конструктивних елементів до крихкого руйнування при експлуатаційних навантаженнях, а тому неможливо за його допомогою точно визначили границі допустимих навантажень. Це пояснюється тим, що розміри конструктивного елемента дуже впливають на напружений стан і швидкість деформації, а процес розвитку тріщини у великих конструкціях не може бути повністю відтворений при випробуванні зразка з надрізом. Для того, щоб при визначенні схильності матеріалу до крихкого руйнування забезпечити максимально можливе наближення до характеру навантажень в умовах експлуатації, потрібні зразки, що відповідають елементам конструкції. Залежно від розмірів, доцільно встановити наступну класифікацію зразків:

- 1) зразки з гострим надрізом або з попередньо нанесеною тріщиною, які за шириною відповідає товщині металу листа;
- 2) зразки, ширина яких значно перевищує товщину металу;
- 3) зразки великі за розмірами, що відповідають розмірам конструктивних елементів (пластини);
- 4) випробування складених конструктивних елементів або конструкцій.

Використання зразків з дуже гострим надрізом або з попередньо нанесеною тріщиною дозволяє окремо визначити енергію зародження та енергію розповсюдження тріщини, а разом з тим імітувати природні тріщино-подібні дефекти. Надріз (радіусом $R < 0,005$ мм) може бути отриманий, наприклад, шляхом вдавлювання дуже гострого леза або нанесенням тріщини від втоми.

До другої групи методів випробувань відносяться випробування падаючим вантажем (за Пелліні), які використовують для визначення температури нульової пластичності на сталевих листах (рис. 4.6).

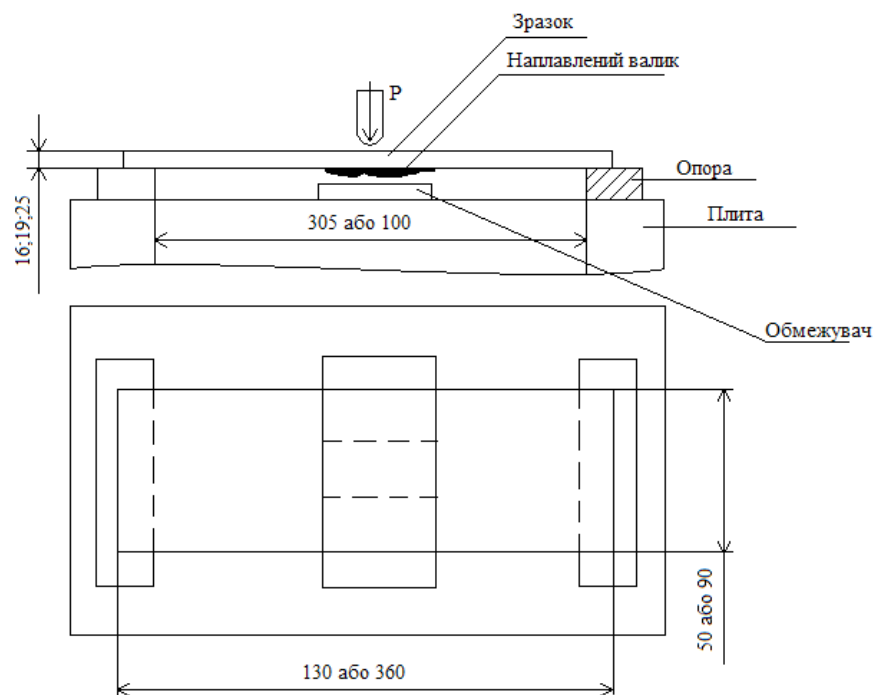


Рисунок 4.6 – Визначення температури нульової пластичності на сталевих листах

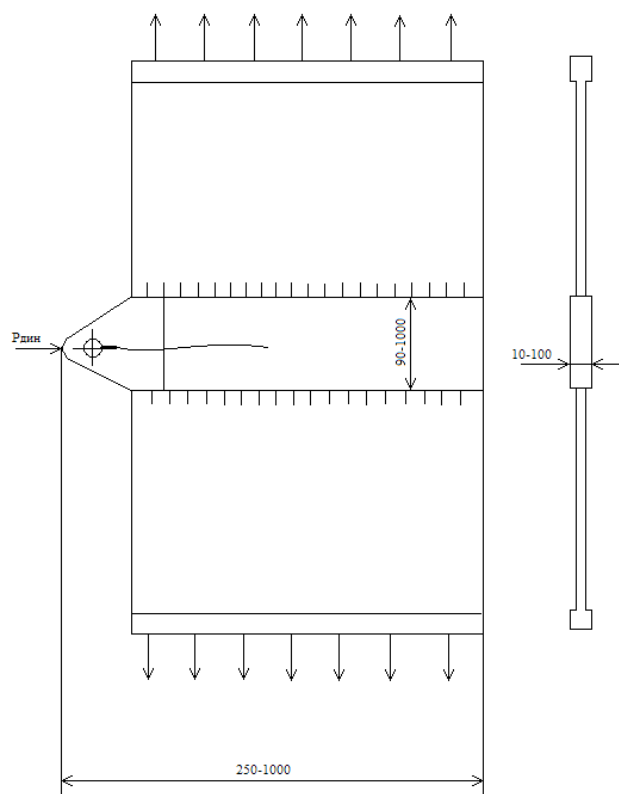


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд зразка для випробувань з зупинкою тріщини (за Робертсоном) на ударний згин

Їх перевагами є простота, невеликий розкид результатів вимірювань, а також можливість контролю листів значної товщини. На плоский зразок довжиною 130 або 360 мм і товщиною 16, 19 або 25 мм наплавляють валик, у центрі якого роблять надріз шириною 1,5 мм. Вертикально падаючий вантаж утворює напруження в зразку, що лежить на двох опорах, випробування ведуть при різних температурах під зразком знаходиться опора відповідної форми, напруження в зразку не повинно перевищувати границю текучості, температура, при якій розвиток тріщини, що поширюється на весь зразок, повинна відповідати температурі нульової пластичності.

У деяких випадках використовують вибухове випробування, коли в листовому зразку з тріщиною при запаленні заряду вибухової речовини утворюються великі навантаження. Якщо напруження, що призводить до руйнування, перевищують границю текучості матеріалу то лист жолобиться, а якщо не перевищують то можна спостерігати плоский-злам з дуже розгалуженими тріщинами.

Третю групу методів випробувань складають випробування з зупинкою тріщини (за Робертсоном) (рис.4.7). Сталеву плиту попередньо навантажують у машині для випробувань на розтягнення до рівня, при якому напруження в плиті становить 60% від границі текучості, а з боку, де є отвір з пропиленним надрізом, наприклад, за допомогою будівельно-монтажного пістолета, наводиться тріщина. Під час випробувань температура зразка або постійна по всій довжині (ізотермічне випробування), або змінюється так, що температурний градієнт становить близько 5°C/см (випробування з температурним градієнтом). При цьому, визначають температуру, при якій тріщина, що розвивається зупиняється. Температура зупинки тріщини дуже важлива для конструкцій, в яких дрібні тріщини можуть знаходитись в них при експлуатації і не впливають на руйнування.

5. Методи визначення твердості і мікротвердості

У техніці поняття “твердість” визначається як опір одного тіла при проникненню в нього іншого тіла, більш твердого. Випробовування на твердість відносять до методів механічних випробувань матеріалів і зварних з’єднань. Оскільки, з одного боку, за допомогою цього методу можна визначити кількісні зв’язки з іншими властивостями або поведінкою матеріалів при визначених навантаженнях, а з іншого боку процес визначення твердості економічно дешевий.

Випробовування на твердість не викликає серйозного пошкодження випробуваного матеріалу і не потребує виготовлення спеціальних зразків. Методи вимірювання твердості, що передбачають впровадження індентора (в залежності від способу-сталеві кульки, пірамідки, конуса чи наконечника) і визначення розмірів його відбитку поділяється на статичні і динамічні.

Вантаж до індентора, при статичних вимірюваннях, прикладають повільно і поступово. При чому, час витримування під вантажем регламентується відповідними стандартами на методи вимірювання твердості.

До динамічних відносять методи пружної віддачі алмазного наконечника та ударного вдавлювання загартованої кульки.

До статичних відносять методи Брінеля, Віккерса, Роквелла, мікротвердості і вони регламентуються державними стандартами.

5.1 Статичні методи визначення твердості

5.1.1 Метод вимірювання твердості за Брінелем

Регламентується державними стандартами. При визначенні твердості за цим методом сталена кулька діаметром (D) вдавлюється у випробуваний зразок під дією навантаження (P), прикладеного на період визначеного часу (рис.5.1).

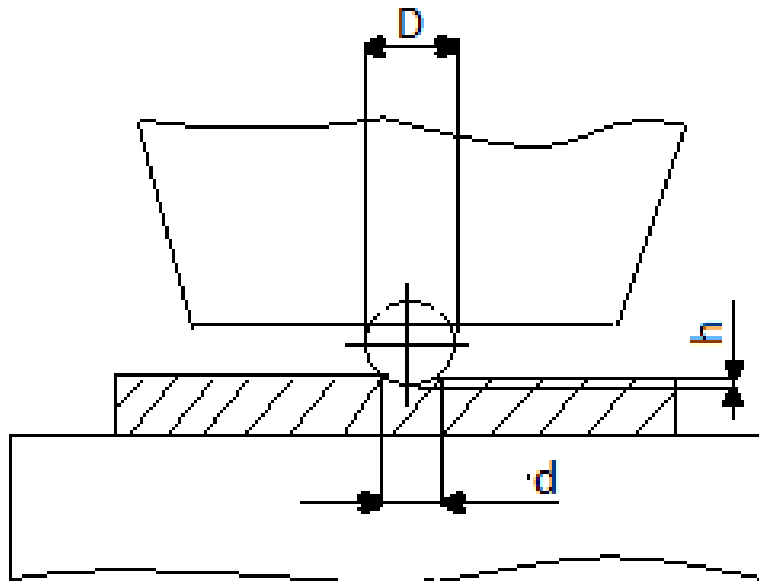


Рисунок 5.1 – Схема метод вимірювання твердості за Брінелем

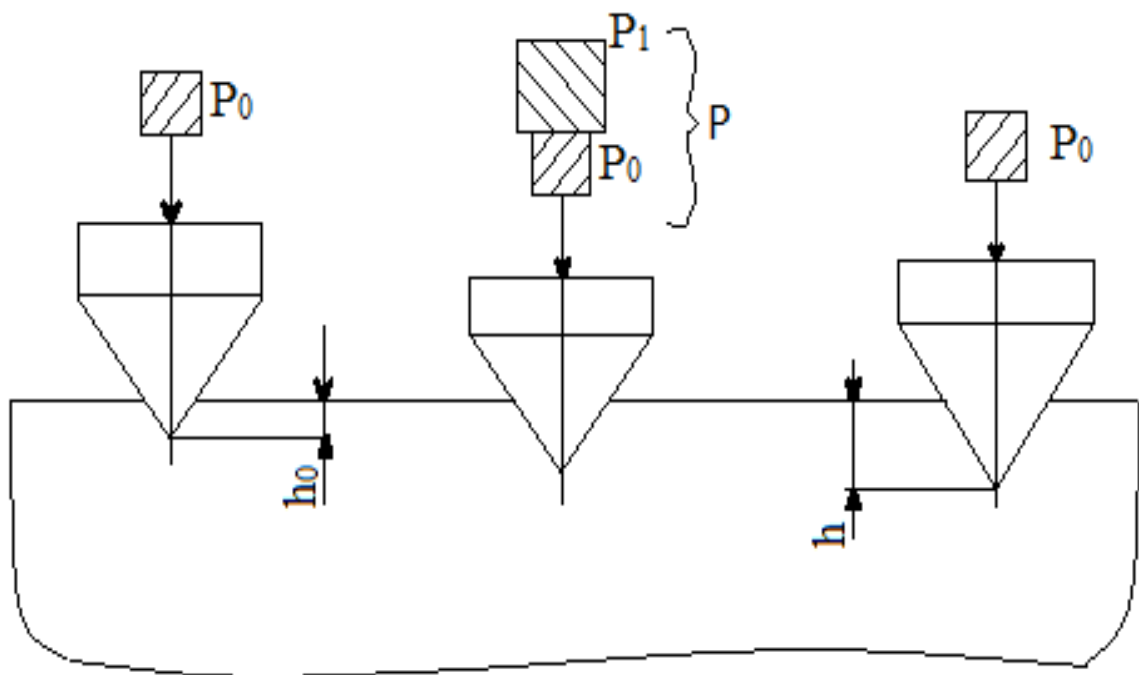


Рисунок 5.2 – Схема методу вимірювання твердості за Роквеллом

Число твердості за Брінелем (HB) визначають діленням навантаження

(P) на площу поверхні сферичного відбитка (мм^2) і розраховують за формулою:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} , \quad (5.1)$$

де D – діаметр кульки, мм;

d – діаметр відбитка, мм.

Для точного вимірювання твердості слід застосовувати кульки найбільшого діаметра-10мм. При вимірюванні твердості чавуну і великозернистих матеріалів використання великої кульки дає більш точне середнє значення твердості структур, складених з різних складових.

Діаметр кульки і навантаження вибирають відповідно від характеру форми і розмірів зразка. Зразки, особливо із сильно викривленою поверхнею, і тонкостінні порожнисті, слід випробовувати при невеликих навантаженнях.

При вимірюванні твердості кулькою діаметром D=10 мм під навантаженням P=30000 Н з витримуванням – t=10 с число твердості за Брінелем позначають символом HB, наприклад HB 300, а при інших умовах доповнюють індексом, який показує умови вимірювання в такому порядку: діаметр кульки, навантаження та час витримування. Наприклад, HB 5/520/25-250 означає, що число твердості за Брінелем дорівнює 250 і отримано при вимірюванні кулькою діаметром D=5мм під навантаженням P= 5200 Н (520кгс), прикладених протягом – t=25 с.

Діаметр відбитка визначається за допомогою вимірюючого мікроскопа в сотих долях міліметра як середнє арифметичне з двох вимірів взаємно перпендикулярних діаметрів.

Діаметри отриманих відбитків (d) при вимірюванні твердості за Брінелем повинні знаходитися в межах $0,2D \leq d \leq 0,6D$. Якщо, ці умови виконуються, випробування вважають дійсними. Визначення твердості

вимірюванням глибини відбитка дає значення твердості, відмінне від отриманого при вимірюванні діаметра, оскільки при цьому не враховується утворений наплив металу і випинання країв відбитка. В зв'язку з цим, глибину вимірюють тільки при серійних випробуваннях одного й того самого матеріалу, для якого граничні відмітки на циферблаті глибиноміра встановлюють на основі порівняльних випробувань, тому що вони відповідають нижній та верхній границям твердості за Брінелем.

Використовуючи залежність між твердістю за Брінелем (НВ) і глибиною (h) відбитка можна визначити глибину відбитка (h) і площу (F) відбитка за формулами:

$$h = \frac{P}{\pi DHB} , \quad (5.2)$$

$$F = \pi Dh ; \quad (5.3)$$

Треба пам'ятати, що на зворотному боці випробуваного зразка після вимірювання твердості не повинно бути слідів деформації.

Число твердості за Брінелем залежить від попереднього гарячого або холодного оброблення металу тиском і температури випробувань так само, як і границя міцності. Існує співвідношення між числом твердості за Брінелем і границею міцності випробуваного зразка: для сталей - $\sigma_M \approx 0,35HB$; для міді $\sigma_M \approx 0,49HB$; для алюмінієвих сплавів $\sigma_M \approx 0,25HB$.

Встановлено, також взаємозв'язок між числом твердості за Брінелем і границею текучості незміцнюючого матеріалу - $\sigma_T \approx 0,383$.

Границю міцності і границю текучості, які вираховані за твердістю, належить округляти до цілого числа і супроводжувати приміткою “вираховано за твердістю”

Значні розміри відбитків дають можливість вимірювати твердість з більшою точністю, отже, метод Брінеля можна використовувати при вивченні питань з випробувань пластичної деформації і процесів деформування, при

яких розміри пластичної ділянки порівнюються з розміром відбитка при вимірюванні твердості.

5.1.2 Методи вимірювання твердості за Роквеллом

Застосовують для визначення твердості чорних і кольорових металів та сплавів за шкалами А, В, С при температурі $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Наконечник стандартного типу (алмазний конус або сталева кулька) вдавлюється у випробуваний зразок під тиском двох послідовно прикладених навантажень – попереднього (P_0) і загального (P_1), яке дорівнює сумі попереднього і основного навантаження (рис.5.2).

Навантаження може змінюватися в широкому діапазоні. Найчастіше використовують навантаження 1500 Н (100 Н-попереднє і 900 Н – основне) – шкала В; 600Н (100 Н – попереднє і 500 основне) – шкала А. Твердість визначають за шкалами, що відповідають встановленим навантаженням. Найбільш часто використовують шкалу А і С. Для вимірювання за цими шкалами використовують алмазні конуси з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення при вершині 0,2 мм. При вимірюванні твердості за шкалою В в якості індентора використовують сталеву кульку діаметром 1,588 мм. Метод вимірювання твердості за Роквеллом дає можливість швидко проводити випробування, оскільки число твердості фіксується безпосередньо за шкалою приладу для вимірювання твердості.

Твердість за Роквеллом визначають в умовних одиницях. За одиницю твердості прийнята величина, відповідна осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм. Залишкову деформацію визначають після знімання основного навантаження. Число твердості відраховують по шкалі індикатора годинникового типу, стрілка якого автоматично показує результат віднімання різниці глибин у міліметрах, на які вдавлюється наконечник індентора під дією двох послідовно прикладених навантажень, від деякої постійної, вираженої в міліметрах.

Твердість за Роквеллом позначають HRC з доповненням латинської букви, яка показує шкалу (C), за якою проводились вимірювання.

По шкалі C вимірюють твердість загартованих сталей, загартованих і відпущених сплавів у діапазоні твердості HRC 20-67; по шкалі B – твердість сталей з низьким і середнім вмістом вуглецю, латуней, бронз та інших матеріалів HRB 25-100; по шкалі A – твердість різних матеріалів у діапазоні HRA 70-85.

Число твердості за Роквеллом при вимірюванні по шкалах A і C визначають вдавлюванням алмазного конуса і вираховують за формулою:

$$HRA = HRC = 100 - \frac{h - h_0}{0,002} , \quad (5.4)$$

де h_0 - глибина відбитка наконечника у випробуваному зразку під дією попереднього навантаження (P_0);

h - глибина впровадження наконечника у випробуваному зразку під дією загального навантаження (P), вимірювання після знімання основного навантаження (P_1) із залишенням попереднього навантаження (P_0). Число твердості при вимірюванні по шкалі B визначають вдавлюванням сталеві кульки і вираховують за формулою:

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0,002} , \quad (5.5)$$

Відстань між центрами двох сусідніх відбитків або від центру будь-якого відбитка до краю зразка повинна бути не менше 3мм. Індикатор приладу має дві шкали:чорну (зовнішню)-при використанні алмазного наконечника і червону(внутрішню) при використанні сталеві кульки.

Вимірювання твердості за Роквеллом широко застосовують, оскільки він дозволяє визначати твердість швидко і просто. Отримані відбитки відносно

малі, а тому цей метод застосовують у масовому виробництві для контролю готових штучних виробів.

5.1.3 Метод вимірювання твердості за Віккерсом

Цей метод регламентується державним стандартом. Твердість чорних і кольорових металів та сплавів вимірюють при навантаженнях від 9.8 Н (1 кгс) до 980 Н (100 кгс).

Вимірювання твердості базується на вдавлюванні алмазного наконечника, в формі правильної чотиригранної піраміди, в зразок під дією навантаження (Р), прикладеного протягом визначеного часу, і вимірюванні діагоналей відбитка d_1 і d_2 , залишеного на поверхні зразка після знімання навантаження (рис 5.3).

Твердість за Віккерсом визначається за формулою:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (5.6)$$

де Р – навантаження, Н;

α – кут між протилежними границями піраміди при вершині, який дорівнює 136° ;

d – середнє арифметичне значення довжин обох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

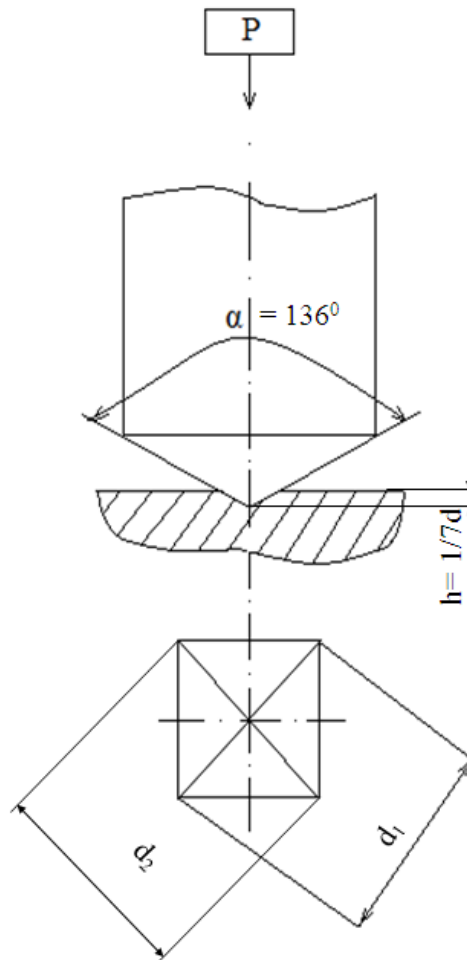


Рисунок 5.3 – Схема методу вимірювання твердості за Віккерсом

Відстань між центром і краєм зразка або краєм сусіднього відбитка повинна бути не менше 2,5 мм довжини діагоналі відбитка. Мінімальна товщина зразка або шару має бути для сталевих виробів більше діагоналі відбитка в 1,2 раза, а для виробів із кольорових металів у 1,5 раза.

Позначення HV супроводжується індексами, які показують навантаження і час витримки, якщо цей час відрізняється від рекомендованого стандартом (10-15с). Наприклад, 30 HV означає число твердості, отримане при навантаженні 300 Н і часі витримки 10-15с. При вимірюванні твердості алмазною пірамідою застосовують такі навантаження: 10; 20; 25; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000 Н. При стандартних випробовуваннях твердість за Віккерсом спочатку встановлюють за результатами вимірювання відбитка алмазної піраміди з урахуванням навантаження на індентор, а потім розраховують (HV) за формулою.

Метод Віккерса вважають найдосконалішим. Він дозволяє вимірювати твердість як м'яких, так і самих твердих матеріалів.

5.2 Динамічні методи визначення твердості

При динамічному методі визначення твердості випробуваний індентор діє на зразок з визначеною кінетичною енергією, а енергія витрачається на підняття навантаження, деформацію зразка (формування відбитка), а також на створення теплоти, вібрації та інші витрати.

Існує два способи динамічного визначення твердості:

I – ий - оснований на розрахунку твердості за відбитком;

II – ий - на вимірюванні висоти віддачі (відскоку) індентора.

5.2.1 Визначення твердості з допомогою падаючого вантажу

Кулька втискується в поверхню зразка під дією вільно падаючого вантажу. Для цього може бути використаний маятниковий копер, в ударному молоті, замість ножа встановлюється сталева кулька. Твердість визначають як відношення енергії падіння “А” до об’єму “V”. Зразок встановлюють перпендикулярно до напрямку падіння молота. Тертя повинно бути якомога виключено. Цей спосіб доцільно використовувати для вимірювання твердості при підвищених температурах, оскільки індентор контактує із зразком на протязі малого часу і не впливає на температуру зразка.

5.2.2 Визначення твердості методом удару

Кулька втискується у випробуваний матеріал під дією сили пружини або ударом молотка (Польпі або Брінеля). У першому випадку енергія удару постійна, а в другому – змінна. В результаті удару відбитки залишаються на еталонному бруску визначеної твердості і на випробуваному зразку. Твердість випробуваного зразка визначають відносно діаметрів обох відбитків. В міру своєї точності цей спосіб поступається статичним.

5.2.3 Визначення твердості методом пружної віддачі (метод Шора)

Визначають висоту відскоку бойка, що вільно падає з постійної висоти на поверхню зразка. До невеликого бойка, додається заокруглений алмазний наконечник. При ударі бойка частина кінетичної енергії витрачається на пластичне деформування поверхні зразка, а частина переходить у потенційну енергію пружної деформації, під дією якої бойок відскакує на визначену висоту, яка є показником твердості зразка. Чим менше кінетичної енергії витрачено на пластичну деформацію, тим більша висота відскоку. Твердість виміряна за висотою відскоку залежить від форми, маси та висоти падіння бойка, а також від маси зразка. Якщо маса зразка мала, то частина кінетичної енергії бойка іде на утворення коливань зразка. Внаслідок чого висота відскоку бойка зменшується. Через це дрібні вироби необхідно щільно притискати до стола приладу. Цим методом вимірюють твердість прокатних валків, масивних поковок та великих виробів.

5.3 Методи визначення мікротвердості

Ці методи регламентуються державними стандартами. Застосовують їх для вимірювання мікротвердості виробів і зразків із металів, сплавів, тонких листів, фольги і зварних з'єднань вдавлюванням алмазних наконечників. Мікротвердість – це твердість дуже малих (мікроскопічних) об'ємів матеріалів.

Стандарт установлює два методи випробувань: за відновленим відбитком(основний метод) і за невідновленим відбитком (додатковий метод).

Суть вимірювання мікротвердості методом відновленого відбитка полягає в тому, що на випробувану поверхню виробу наносять відбиток під дією статичного навантаження, яке прикладене до алмазного наконечника протягом визначеного часу. Максимальне навантаження складає 4,905Н. Число мікротвердості визначають діленням прикладеного до алмазного наконечника нормального навантаження в Н (кгс), на умовну площу бокової поверхні відбитка в мм^2 .

При вимірюванні мікротвердості застосовують алмазні наконечники чотирьох форм (рис 5.4)

- 1) чотиригранну піраміду з квадратною основою (рис 5.4а) ;
- 2) тригранну піраміду з основою у вигляді рівнобічного трикутника (рис 5.4б) ;
- 3) чотиригранну піраміду з ромбічною основою (рис 5.4в) ;
- 4) бі-циліндричний наконечник (рис 5.4г).

Для наконечників першого виду число мікротвердості розраховують в залежності від форми алмазного наконечника, а саме:

$$1) \text{ для першої } M_{\square} \approx 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (5.24)$$

$$2) \text{ для другої } M_{\Delta} \approx 1,57 \frac{P}{l_{\Delta}^2}, \quad (5.25)$$

$$3) \text{ для третьої } M_{\diamond} \approx 1,896 \frac{P}{l^2}, \quad (5.26)$$

$$4) \text{ для четвертої } M_{\odot} \approx 4,168 \frac{P}{l_{\odot}^3}, \quad (5.27)$$

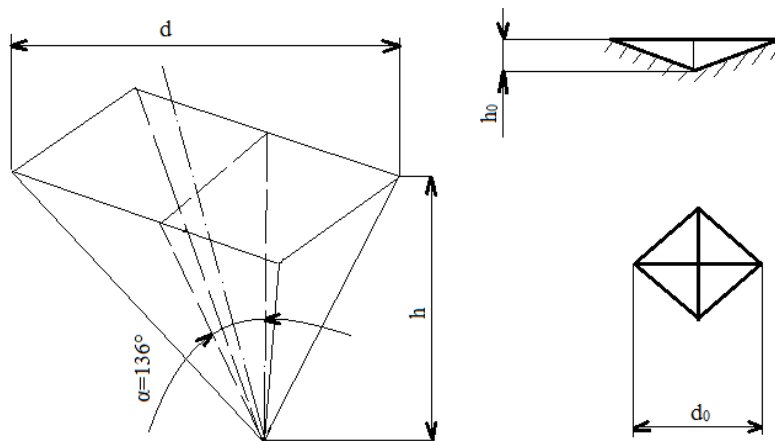
де P – нормальне навантаження прикладене до алмазного наконечника, Н;

d – середнє арифметичне довжин діагоналей квадратного відбитка, мм;

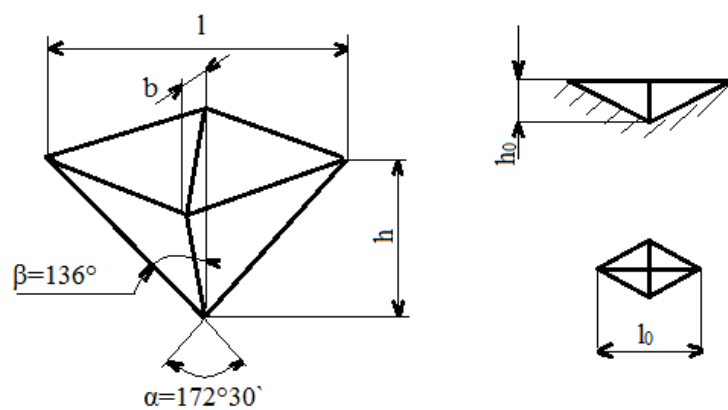
l – розмір відбитка, мм.

Суть вимірювання мікротвердості методом невідновленого відбитка в тому, що на поверхню зразка наноситься відбиток під дією статичного навантаження, що прикладене до алмазного наконечника протягом визначеного часу з одночасним вимірюванням глибини відбитка (h).

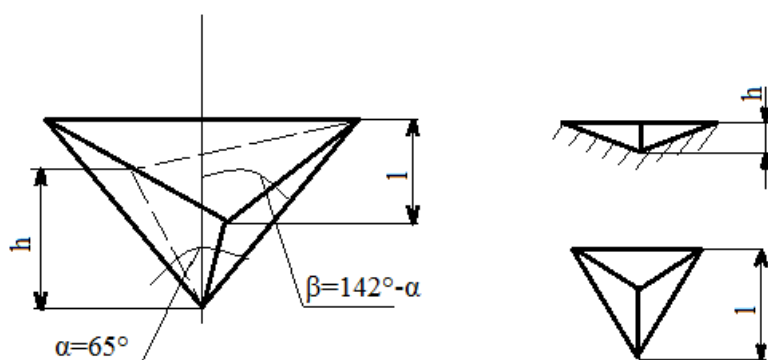
Метод невідновленого відбитка застосовують також для визначення допоміжних характеристик матеріалу. При цьому методі число мікротвердості визначають діленням прикладеного до алмазного наконечника нормального навантаження (H) на умовну площу бокової поверхні відбитка (мм^2), що відповідає його вимірюваній глибині.



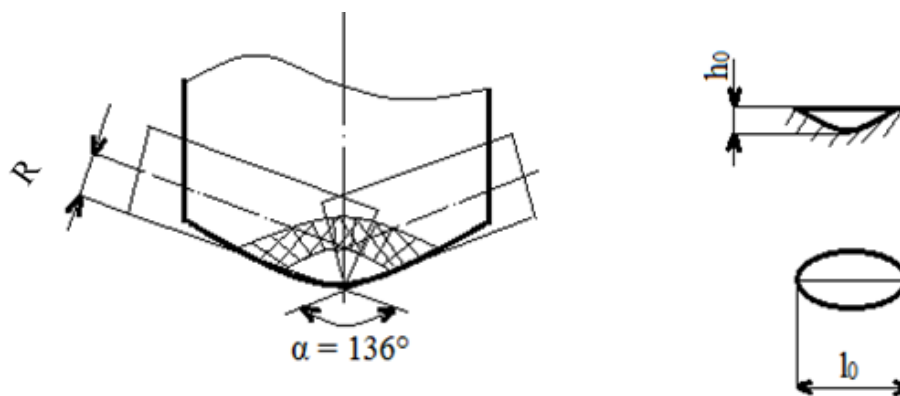
a)



б)



в)



г)

Рисунок – 5.4 Загальний вигляд наконечників, які застосовують при вимірюванні мікротвердості

В залежності від форми наконечника, число мікротвердості визначають за формулами:

1) для чотиригранної піраміди з квадратною основою (рис. 5.4а):

$$H_{ок} \cong 0,03784 \frac{P}{h_0}, \quad (5.11)$$

2) для тригранної піраміди з основою у вигляді рівнобічного трикутника:

$$H_{\Delta h} \cong 0,03797 \frac{P}{h_{\Delta}^2}, \quad (5.12)$$

3) для чотиригранної піраміди з ромбічною основою:

$$H_{\phi h} \cong 0,01385 \frac{P}{h_{\phi}^2}, \quad (5.13)$$

4) для бі - циліндричного наконечника:

$$H_{\phi h} \cong 0,07292 \frac{P}{h_{\phi}}, \quad (5.14)$$

де P – нормальне навантаження, прикладене до алмазного наконечника H (кгс);

h – глибина відбитка, мм.

Число мікротвердості, а також розміри d і l відбитка за його вимірюваною глибиною (h) (див. рис. 5.4) визначають за формулами та таблицями відповідно додатків Держстандартів.

Навантаження треба прикладати плавно, без поштовхів, швидкість опускання алмазного наконечника не повинна впливати на розміри відбитка, тривалість витримки повинна бути не менше 3с.

6 Металографічні дослідження структури металу шва і біляшовної зони (зони термічного впливу) зварних з'єднань та хімічний аналіз

6.1 Металографічні дослідження структури металу шва і біляшовної зони (ЗТВ) зварних з'єднань

Металографічні дослідження проводять для дослідження структури металу шва зварних з'єднань. Дослідивши структуру металу зварних з'єднань можна встановити правильність вибору параметрів режиму зварювання, якість

зварювальних матеріалів та інших факторів які визначають якість металу зварного шва, та виявляють дефекти шва і встановлюють причини їх виникнення. Тому, основною задачею металографічного аналізу є дослідження структури і дефектів наплавленого металу зварних з'єднань.

Металографічні дослідження складаються з макроструктурних і мікроструктурних досліджень.

6.1.1 Макроструктурний аналіз

Макроскопічною структурою називають структуру або особливості будови структури металів та сплавів, які можна спостерігати неозброєним оком, або через лупу при невеликих збільшеннях (до 30 разів), що дозволяє вивчати великі поверхні заготовок (виробів), а також робити висновки про якість металу і умови попереднього оброблення. По даним макроаналізу можна вибрати ті ділянки металу або зварного з'єднання, які необхідно піддати подальшому більш детальному мікроскопічному або іншому дослідженню.

Макроаналіз на відміну від мікроскопічного аналізу не дозволяє визначити всіх особливостей будови структури металу і тому, часто є не кінцевими, а лише попереднім видом досліджень.

Об'єктами макроскопічного аналізу є:

- поверхня незруйнованого виробу;
- злами;
- макрошліфи.

Поверхня незруйнованого виробу представляє собою зовнішній вигляд металу або зварного з'єднання. По зовнішньому вигляду можна оцінити спосіб отримання зразка металу: відливка це чи прокат. По вигляду зварного з'єднання можна оцінити спосіб зварювання (ручне дугове, напівавтоматичне в вуглекислому газі, автоматичне під флюсом та інші.) Дослідження поверхні незруйнованого виробу зварного з'єднання виділено, в останні роки, в окремий спосіб контролю якості зварних з'єднань, який називається

«візуальний контроль» і дозволяє визначити розміри зварного шва, якість формування поверхні зварного шва, наявність поверхневих дефектів (напливи, підрізи, поверхневі тріщини та ін.)

Злами можуть бути різними за формою і видом та відрізнятися в залежності від складу металу, його будови, окремих дефектів, умов оброблення і стану при якому відбулося руйнування. Метод полягає у дослідженні поверхонь, що утворилися при руйнуванні металевих зразків. Злами бувають природні, коли руйнується якась конструкція або виріб, та штучні (коли вирізається зразок металу або зварного з'єднання), в ньому роблять надріз і ламають на спеціальній установці (механічний копер), яка дозволяє визначити роботу руйнування і оцінити механічні властивості металу (ударну в'язкість).

За допомогою цього методу визначають:

- форму і розмір зерна;
- вид зламу;
- характер руйнування.

Вивчення зламу дозволяє оцінити якість металу, а напрямок матеріалознавства, що цим займається, називають фрактографією. Дрібнозернистий злам свідчить про більш високі механічні властивості металу, ніж великозернистий. По зламу можна визначити характер руйнування: в'язке, крихке або викликане втомою металу.

Макрошліф – це зразок з шліфованою, а якщо необхідно, протравленою поверхнею (25%-им розчином азотної кислоти), вирізаний з досліджуваного виробу або зварного з'єднання. Вибір зразків для виготовлення шліфів визначається видом об'єкту дослідження (злиток, поковка, литво, зварне з'єднання та інш.) і розмірами об'єкту досліджень. Шліф потрібно готувати так, щоби в ньому найбільш чітко виявлялася неоднорідність або особливості будови структури. Так, для вивчення злитка потрібен поздовжній переріз і додатково декілька поперечних перерізів, а для зварних з'єднань, як правило, вирізається зразок, що включає зварний шов та біляшовну зону (ЗТВ).

Підготовлений для дослідження зразок розрізається механічними методами. При термічному різанні необхідно залишати значний допуск на механічне оброблення шліфа. Дрібні вироби розрізають для дослідження в потрібному напрямі і в такому вигляді направляють на наступне оброблення. З великих виробів вирізають спеціальні зразки (темплети) товщиною не менше 15-25мм. Одну з плоских поверхонь шліфують вручну або на шліфувальному станку. При переході на більш тонкий шліфувальний матеріал напрямок шліфування змінюють на 90° і шліфують до зникнення рисок від попереднього шліфувального матеріалу. Потім, зразок промивають водою та сушать. Для виявлення дефектів обезжирений шліф травлять. Реактив активно впливає на ділянки, де є дефекти і неметалеві включення, тобто більш розгалужена і активна поверхня. Розрізняють глибоке і поверхнєве травлення. Реактиви глибокого травлення використовують, головним чином, для макроаналізу злитків та прокату (поковок), а також для виявлення пор, раковин і ліквацій. Поверхнєве травлення проводиться менш агресивними реактивами і дозволяє виявити відносно велику пористість, ліквації та інші дефекти, що виходять на поверхню шліфа.

Макрошліфи зварного з'єднання дозволяють досліджувати форму зварного шва, глибину проплавлення, форму пор, тріщин та місце їх знаходження, визначити кількість проходів при багатопрохідному зварюванні, дендритну структуру металу шва, розміри кристалів і напрямок їх росту. Металографічні дослідження зварних швів, як на зразках зварених в ідентичних умовах, так і шляхом засвердлювання з наступним травленням необхідних місць з метою визначення якості провару і відсутності внутрішніх дефектів. Засвердлювання виконують свердлом діаметром на 3 мм більшим, ніж ширина шва, для того щоб засвердлити основний метал і зону термічного впливу (ЗТВ).

Макроструктура зварних з'єднань досліджується неозброєним оком при 30-ти кратному збільшенні поверхні макрошліфів, що вирізають з цих зварних

з'єднань. Зразки для шліфів вирізають на відстані 20-30 мм від початку або кінця шва.

6.1.2 Мікросруктурний аналіз

При мікроструктурному методі досліджень обов'язково застосовуються мікроскопи і визначають структуру і недоліки металу. В залежності від необхідного збільшення для чіткого спостереження всіх фаз, їх кількості, форми і розподілення в мікроскопах використовують:

- біле світло і звичайні оптичні системи, що складаються з комбінації скляних лінз та призм (оптична мікроскопія);
- електронний промінь, тобто потік електронів, для утворення якого використовують електромагнітні і електростатичні лінзи (електронна мікроскопія).

За допомогою мікродосліджень можна встановити якість зварюваного металу, виявити його мікроструктуру, наявність оксидів на границі зерен, забрудненість металу різними включеннями (оксидами, сульфідами та іншими домішками), визначити величину зерна, зміну структури металу в результаті зварювання: мікротріщини, пори та інші дефекти структури металу шва і біляшовної зони (зони термічного впливу).

По мікроструктурі зварних з'єднань можна встановити:

- 1) структуру наплавленого металу і структуру в зоні термічного впливу;
- 2) приблизний вміст вуглецю в основному і наплавленому металі та в різних зонах шва;
- 3) приблизні параметри режиму зварювання і швидкість охолодження металу шва і зони термічного впливу;
- 4) кількість шарів зварного шва, дефекти шва і його структуру.

Дослідження за допомогою оптичних мікроскопів проводять на спеціально підготовлених зразках – мікрошліфах. Виготовлення мікрошліфа відбувається в такій послідовності:

- 1) вирізка зразка;
- 2) вирівнювання поверхні зрізу грубим шліфуванням;

3) тонке шліфування;

4) полірування.

Зразок вирізається з тієї частини виробу або заготовки, яка в даному дослідженні представляє собою найбільший інтерес. Зразки вирізають фрезою, різцем, алмазним кругом або електроіскровим способом. В процесі вирізання зразків не допускається значне нагрівання, тому, що воно може визвати структурні зміни металу. Якщо, вироби мають невеликі розміри (тонкий лист, дріт та інш.), для виготовлення шліфа їх затискають в спеціальні струбцини або заливають в оправках легкоплавкими матеріалами (сплавом Вуда, сіркою, пластмасою, епоксидною смолою, тощо). Грубе шліфування проводять на спеціальних абразивних кругах або наждачному папері. Не допускається розігрівання зразка. Після грубого шліфування зразок промивають водою і переходять до тонкого шліфування змінюючи напрям на 90° і шліфувальний папір з зернистістю від 125 до 20 мкм до повного зникнення рисок від попередньої операції. Крім, шліфувального паперу, для шліфування застосовують спеціальні пасти (алмазні, ГОІ та інш.). Після шліфування зразок промивають і полірують за допомогою емульсій для полірування, які наносять на сукно. Матеріалами для полірування можуть бути оксиди алюмінію, хрому і заліза. Полірування продовжується 5-10 хв. до отримання зразком дзеркальної поверхні. Готовий зразок промивають, сушать і розглядають під мікроскопом при збільшеннях 100-150 разів для оцінки якості поверхні. Якщо на поверхні зразка є риси, то повертаються до полірування або тонкого шліфування. Після підготовки якісної поверхні шліфа, його піддають травленню. Травлення здійснюється шляхом зануренням зразка полірованою поверхнею в ванну з реактивом, або протиранням поверхні ватою змоченою в реактиві. Так, як поверхня мікрошліфа неоднорідна, то її різні складові і мають різний електронний потенціал і при взаємодії з реактивом поверхня являє собою комплекс мікро гальванічних елементів. Ділянки поверхні з більш низьким потенціалом відіграють роль анодів і будуть розчинятися. Інтенсивно травляться границі зерен, які більше збагачені різними домішками ніж зерно,

що сприяє утворенню мікрогальванічних елементів. В результаті травлення на поверхні шліфа утворюється мікрорельєф. Більш глибоко протравлені ділянки дають при розгляді під мікроскопом більше розсіяних променів і виглядають більш темними.

При виготовленні мікрошліфів необхідно дотримуватись таких вимог:

- 1) не робити різкого переходу від грубого шліфування до тонкого, а поступово зменшувати зернистість шліфувального паперу;
- 2) в процесі полірування зразки не притискати міцно до полірувального диску;
- 3) перед травленням поверхню зразка протерти ватою, змоченою в спирті;
- 4) після травлення шліф протерти спиртом і просушити фільтрувальним папером.

Готові мікрошліфи зберігаються в ексикаторах – скляних посудинах з притертою кришкою, в які засипається просушений силікагель. Таким чином, в ексикаторі встановлюється суха атмосфера, що позитивно впливає на час зберігання мікрошліфів.

Для дослідження в електронних мікроскопах використовують тонкі металеві фольги і щітки. Технологія приготування фольги складається з механічного вирізання тоненької пластинки металу, яка потім підлягає електрохімічному травленню до появи в ній отвору. Товщина пластинки в місці отвору складає декілька параметрів кристалічної ґратки і дає можливість потоку електронів проходити крізь неї, формуючи на екрані певне зображення. Її отримують в спеціальних установках шляхом напилення в вакуумі на поверхню мікрошліфа вуглецю, кремнію або іншої речовини. Потім на напилений шар наноситься желатина, яка міцно зчіплюється з напиленим шаром і разом з ним видаляється з поверхні мікрошліфа. Напилений шар з желатиною поміщають в розчинник, желатина розчиняється, а тоненька напилена плівочка виловлюється з розчинника за допомогою металевої сітки і на сітці транспортується до електронного мікроскопу.

6.2. Хімічний аналіз структури металу шва і біля шовної зони (зони термічного впливу) зварних з'єднань

Хімічний аналіз застосовують для відбраковування матеріалів за хімічним складом, а також для встановлення причин виникнення дефектів в металі шва чи зварному з'єднанні. При дослідженні зварних з'єднань, як правило, хімічний аналіз проводять основного, присаджувального чи електродного дроту, електродів і наплавленого металу шва. При аналізі металу шва необхідно встановити: вміст вуглецю, кремнію, марганцю і легуючих елементів, які рекомендуються при зварюванні різних металів на тих чи інших параметрах режиму. При цьому, важливо встановити чи вміст шкідливих домішок, як в основному металі, так і в металі шва не перевищує допустимої межі.

В деяких випадках, і в першу чергу при розробленні нового хімічного складу електродного покриття, або при розробленні нової технології зварювання рекомендується проводити хімічний аналіз металу шва на вміст кисню, азоту і водню. Проби відбирають у вигляді стружки за ГОСТ 7122-81, з таким розрахунком, щоб в ній не було великої кількості металу. Маса стружки визначається за кількістю елементів які визначають. Для аналізу на вуглець достатньо 3-5 г стружки, а для визначення азоту і кисню потрібно 50г.

Стружка повинна бути обезжиреною спиртом або ефіром. Одним із способів вивчення структури металів є спосіб з використанням ізотопів сірки і фосфору. В метал шва ізотопи вводять через зварювальний дріт, або основний метал, а потім з зварного шва виготовляють шліфи, які після цього кладуть на фотоплівку або фотопапір. Відбиток відображає характер ізотопів. Максимум потемніння плівки відповідає найбільшій концентрації ізотопів і визначає характер розподілення ізотопів, а по них можна зробити висновки про наявність і розподілення елементів в структурі металу шва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ботюк В.В. Методи випробувань матеріалів і зварних з'єднань [Текст] / В.В.Ботюк.– К.: КПП, 1992. - 147 с.
2. Стандарты по сварке и родственным технологиям [Текст] / Академия наук Украины. Институт Электросварки им. Е.О. Патона. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1993. - 59 с.
3. Сварка, пайка и термическая резка металлов [Текст] / Часть 5 – М.: Издательство стандартов, 1979. – 376 с.
4. Костин П.П. Физико – механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов [Текст] / П.П.Костин. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Испытания материалов Справочник [Текст] / Под. ред. Х. Блюменуера; Пер. с нем. Под ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Металлургия, 1979. - 448 с.
6. Сварка в машиностроении [Текст] / В 4-х томах. Т.4. / Под ред. к.т.н. Ю.Н. Зорина. – М.: Машиностроение, 1978. - 512 с.
7. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст] / В.Н.Волченко. – М.: Машиностроение, 1986. - 152 с.
8. Куркин С.А. Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением [Текст] / С.А.Куркин.-М.: Машиностроение, 1976.–184 с.
9. Семушкин О.Г. Механические испытания металлов [Текст] / О.Г.Семушкин. - М.: Высшая школа, 1972. - 304 с.
10. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств [Текст] / ГОССТАНДАРТ. – М., 1970. - 60 с.
11. ГОСТ 25.206.85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении [Текст] / ГОССТАНДАРТ. – М., 1983. - 52 с.
12. РД 540-344-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение

характеристик вязкости розрушения (трещиностойкости) при динамическом нагружении [Текст] / М.: Издательство стандартов, 1983. - 52 с.

13. РД 50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости розрушения) при циклическом нагружении [Текст] / М.: Издательство стандартов, 1983. - 95 с.

Зміст

- 1 Мета і завдання
- 2 Теоретичні відомості
- 3 Статичні випробування. Методи випробувань на розтягнення, тривалу міцність, повзучість, стиск, кручення і зріз матеріалів і зварних з'єднань
 - 3.1 Методи випробувань на розтягнення. Випробування на розтягнення при підвищених і понижених температурах
 - 3.1.1. Методи випробувань на розтягнення
 - 3.1.2. Методи випробувань на розтягнення при підвищених і понижених температурах
 - 3.2 Методи випробувань на тривалу міцність і повзучість
 - 3.3 Методи випробувань на стиск, кручення і зріз
 - 3.4 Методи технологічних випробувань на згин. Випробування на згин зварних з'єднань
- 4 Випробування при прикладанні динамічних навантажень
 - 4.1 Випробування на ударне розтягнення і ударний стиск
 - 4.2 Випробування на ударний згин
 - 4.3 Випробування на зразках, що імітують конструкції
- 5 Методи визначення твердості і мікротвердості
 - 5.1 Статичні методи визначення твердості
 - 5.2 Динамічні методи визначення твердості
 - 5.3 Методи визначення мікротвердості
- 6 Металографічні дослідження структури металу шва і біляшовної зони (зони термічного впливу) зварних з'єднань та хімічний аналіз
 - 6.1 Металографічні дослідження структури металу шва і біляшовної зони зварних з'єднань
 - 6.2 Хімічний аналіз металу шва і біляшовної зони зварних з'єднань

ДЛЯ НОТАТОК

